

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades
Master
an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin

Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin [FH]
Fachbereich 1
Studiengang Informations- und Kommunikationstechnik

Thema(deutsch): Erweiterung des kooperativen Steuerverfahrens AGLOSA und Implementierung für Knotenpunkte zur Integration von kleinen mobilen Robotern in den verkehrssicheren und qualitätsoptimierten Verkehrsablauf

Thema(englisch): Extension of the cooperative control procedure AGLOSA and implementation for junctions the integration of small mobile robots in the traffic-safe and quality-optimized traffic flow.

Autor: Christian Wille
Geb. am: 18.12.1990
Matrikelnummer: s0557083
Seminargruppe: IKT - M

1. Gutachter: Prof. Dr. Hermann Neuner
2. Gutachter: M.Eng. Sten Ruppe

Betrieb: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

Eingereicht am: 16. April 2018

Bibliografische Beschreibung und Referat

Wille, Christian

Erweiterung des kooperativen Steuerverfahrens AGLOSA und Implementierung für Knotenpunkte zur Integration von kleinen mobilen Robotern in den verkehrssicheren und qualitätsoptimierten Verkehrsablauf

Masterarbeit, Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, 86 Seiten, 41 Abbildungen, elf Tabellen, zwei Anlagen, eine CD.

Ziel

Das Ziel dieser Masterarbeit ist die Entwicklung eines Systems, das kooperative Steuerverfahren AGLOSA so zu erweitern, dass es mobile Kleinstfahrzeuge und Roboter berücksichtigt. Eine Implementierung im Testlabor soll die Funktionsfähigkeit des Systems an einem Knotenpunkt nachweisen. Die Schwerpunkte liegen bei der Definition der Anforderungen, wobei hier auch eine Verkehrsraumbetrachtung miteingeschlossen ist. Außerdem wird noch eine Erweiterung des kooperativen Steuerverfahrens und die Umsetzung des Kommunikationsprotokolls mit einem Erweiterungsvorschlag dieses Kommunikationsprotokolls untersucht.

Inhalt

Die Masterarbeit beschreibt die Evaluation, die Konzeption, sowie die Entwicklung eines Systems, um kleine mobile Roboter – mit verschiedenen Aufgaben – sicher über eine Kreuzung zu bringen. Hierfür wird zunächst die grundlegende Idee der Arbeit näher erläutert und anschließend eine Einführung in die Technik, die dahintersteckt, gegeben. Hierbei handelt es sich speziell um die C2X Technologie und Steuerverfahren GLOSA und AGLOSA. Daran anschließend werden die Anforderungen an die jeweilige Lösung sorgsam geplant und konzeptioniert. So werden beispielsweise verwandte Lösungen untersucht, um daraus wichtige Erkenntnisse für die eigene Lösung nutzen oder übernehmen zu können. Abschließend wird eine Testphase durchgeführt und dokumentiert, in der unter Einsatz der entwickelten Anwendung und des Prototyps ein erstes Szenario im Labor getestet wird. Im Anhang dieser Masterarbeit liegt eine CD-ROM bei, die den Quellcode und eine funktionsfähige Version der entwickelten Anwendung enthält.

Abstract

The master thesis describes the evaluation, the conception and as well the development of a system to bring small mobile robots - with different tasks - safely over a crossroad. To this end, the basic idea of the work is first explained in more detail, followed by an introduction to the technology behind C2X. These are especially the C2X technology and methods GLOSA and AGLOSA. Subsequently, the requirements for the respective solution are carefully planned and conceptualized. For example, related solutions are examined in order to be able to use or adopt important findings for one's own solution. Finally, a test phase is carried out and documented.

Selbstständigkeitserklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Masterarbeit eigenständig angefertigt und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

(Ort, Datum)

(Unterschrift)

Inhaltsverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	4
TABELLENVERZEICHNIS	5
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	6
1. EINLEITUNG.....	8
1.1 MOTIVATION	8
1.2 ZIELSETZUNG	9
1.3 AUFBAU DER ARBEIT	9
1.4 ABGRENZUNG.....	10
2 GRUNDLAGEN.....	11
2.1 C2X	11
2.1.1 Einführung in die C2X – Kommunikation	11
2.1.2 Systemübersicht eines C2X Systems.....	11
2.1.3 Funktionen der C2X Kommunikation	12
2.1.4 Standardisierungen bei C2X.....	13
2.1.5 IEEE 802.11	14
2.1.6 IEEE 1609	15
2.1.7 Architektur der C2X-Schichten	16
2.1.8 Konvoi-Bildung.....	16
2.1.9 Routingproblem bei C2X	17
2.1.10 Sicherheit (Security) bei C2X	19
2.1.11 Dienstgüte - Quality of Service.....	21
2.1.12 Herausforderungen und Grenzen der C2X-Kommunikation	22
2.2 NACHRICHTEN ÜBERTRAGUNGSVERFAHREN	24
2.2.1 Nachrichtenübertragung C2X.....	27
2.2.1.1 GeoUnicast	27
2.2.1.2 GeoBroadcast	27
2.2.1.3 Topologically-Scoped Broadcast.....	28
2.2.1.4 GeoAnycast	28
2.2.2 Nachrichtenarten - Standardisierte Botschaften in Europa.....	29
2.2.2.1 C2C Botschaften.....	29
2.2.2.2 C2I Botschaften.....	29
2.3 STEUERVERFAHREN	31
2.3.1 Festzeitsteuerung	31
2.3.2 Adaptive Steuerungen	31
2.3.2.1 Zeitlückensteuerung	31
2.3.2.2 Verlustzeitbasierte Steuerung	33

2.3.3	VITAL – Verkehrsabhängig Intelligente Steuerung von Lichtsignalanlagen	35
2.3.3.1	GLOSA.....	36
2.3.3.2	AGLOSA.....	38
2.4	STAND DER TECHNIK.....	40
2.4.1	Ergebnisse der Patentrecherche	40
2.4.2	Ergebnisse der Literaturrecherche	41
2.4.3	Ergebnisse der Recherche zu Forschungsprojekten	41
2.4.3.1	UR:BAN.....	41
2.4.3.2	simTD.....	42
2.4.3.3	DRIVE C2X	42
2.4.3.4	KOLINE.....	42
2.4.3.5	VITAL.....	43
2.4.4	Ergebnisse zur Recherche zu Robotersystemen	44
2.4.4.1	Postbot.....	45
2.4.4.2	Lightweight Rover Unit (LRU)	45
2.4.4.3	Gita.....	46
2.4.4.4	Starship.....	47
2.4.4.5	Dr Robot - Jaguar 4x4	48
2.4.4.6	Bert.....	48
2.4.4.7	Mir100.....	49
2.4.4.8	Lego Mindstorm EV3.....	50
3	USECASES	51
3.1	USECASE I.....	51
3.2	USECASE II.....	52
3.3	TESTAUFBAU IM LABOR	52
3.4	AUFBAU DER VERBINDUNG.....	53
3.5	ABLAUF EINES TESTES	53
4	ANFORDERUNGEN	54
4.1	ANFORDERUNGSANALYSE.....	54
4.2	AUSWAHLPROZESS	56
5	ZIELKRITERIEN	58
6	SYSTEMKONZEPT.....	60
6.1	GROBKONZEPT	60
6.2	DETAILKONZEPT	61
6.3	KOMPONENTEN DES SYSTEMS	62
6.3.1	Roboter.....	62
6.3.2	Raspberry Pi.....	63
6.3.3	Steuergerät.....	63
6.3.4	Beckhoff IPC.....	64

6.3.5	C2X Kommunikationseinheit	65
6.3.6	Signalgebermasten	65
6.4	IMPLEMENTIERUNG	67
6.4.1	Nachrichtenarten	67
6.4.1.1	Cooperative Awareness Message	67
6.4.1.2	Signal Phase and Timing	69
6.4.1.3	Einlesen der eingehenden SpaT Nachrichten.....	71
6.4.2	Umsetzung des Systemkonzeptes.....	71
6.4.3	Ermittlung der relevanten Spur	75
7	DURCHFÜHRUNG UND AUSWERTUNG	76
8	ABSCHLUSSBETRACHTUNG	82
8.1	VERKEHRSRAUMBETRACHTUNG	82
8.2	ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT	84
	LITERATURVERZEICHNIS	87
	ANLAGEN	93
	INHALT DER CD-ROM	93
	PROTOKOLLE	93
	Usecase I	93
	Usecase II	95

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Verwendete Frequenzbänder für VANET in Industrieländern [8]	13
Abbildung 2 - Aufteilung der Frequenz [11].....	14
Abbildung 3 - IEEE 1609 - Bandbreite zur Entfernung [7]	15
Abbildung 4 - ISO/OSI Schichtenmodell eines Netzes (links) und das C2C-Protokol	16
Abbildung 5 - Bandbreite zum Verhältnis der Fahrzeuge [10]	21
Abbildung 6 - Aufbau eines Ad Hoc Netzwerkes [21]	25
Abbildung 7 - GeoUnicast [2].....	27
Abbildung 8 - GeoBroadcast [2]	27
Abbildung 9 - Topologically-Scoped Broadcast [2]	28
Abbildung 10 - Geoanycast [2]	28
Abbildung 11 - Lage eines Detektors [27]	32
Abbildung 12 - Zeitlückensteuerung in zwei Verkehrssituationen [29]	33
Abbildung 13 - mittlere Verlustzeiten der Verfahren [30].....	34
Abbildung 14 - GLOSA Verfahren [31]	36
Abbildung 15 - Multisegment GLOSA [31]	37
Abbildung 16 - Kombination von Adaptiver LSA-Steuerung und GLOSA (AGLOSA) [1] ..	38
Abbildung 17 - Kontrollschleife [1].....	39
Abbildung 18 - Postbot [42].....	45
Abbildung 19 - Lightweight Rover Unit (LRU) [43].....	46
Abbildung 20 - Roboter von Piaggio – Gita [44].....	46
Abbildung 21 - Starship Roboter	47
Abbildung 22 - Jaguar 4x4 der Firma Dr. Robot [46].....	48
Abbildung 23 - vierbeiniger Laufroboter Bert [47]	49
Abbildung 24 - autonome Transportroboter MiR100 [48].....	49
Abbildung 25 - Lego Mindstorm EV3 [49]	50
Abbildung 26 - schematischer Aufbau LSA Labor.....	51
Abbildung 27 - Testaufbau.....	52
Abbildung 28 - Überblick über das LSA - Labor [39]	53
Abbildung 29 - Grobkonzept.....	60
Abbildung 30 - detailliertes Systemkonzept	61
Abbildung 31 - Gesamtkonzept.....	66
Abbildung 32 - MovementStates einer SPaT Nachricht	70
Abbildung 33 - Aufbau einer SPaT	70

Abbildung 34 - Systemkonzept	71
Abbildung 35 - Systemkonzept	72
Abbildung 36 - Programmierung Mindstorm.....	73
Abbildung 37 - Bluetooth Skript.....	73
Abbildung 38 - Verbindung mit Bluetooth Device	74
Abbildung 39 - Skript zum Versenden von CAM Nachrichten	75
Abbildung 40 - im Testlabor	76
Abbildung 41 - Konzept für eine Kreuzung	79

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Auswertung C2C Kommunikation	23
Tabelle 2 - Anforderungen	54
Tabelle 3 - Auswahl Roboter.....	56
Tabelle 4 - Ausgewählte Roboter mit Ranking	57
Tabelle 5 - Zuordnung Komponenten	62
Tabelle 6 - Eigenschaften des Roboters	62
Tabelle 7 - Eigenschaften Raspberry Pi 3	63
Tabelle 8 - Eigenschaften des Steuergerätes	64
Tabelle 9 - Eigenschaften des Beckhoff PCs	64
Tabelle 10 - Eigenschaften der C2X Kommunikationseinheit.....	65
Tabelle 11 - Auswertung der Anforderungen	80

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
Abs.	Abschnitt
ABS	Anti Blockier System
ACC	Adaptive Cruise Control
AGLOSA	Agent-Based Green Light Optimal Speed Advisory
bzw.	beziehungsweise
C2C	Car to Car
C2I	Car to Infrastructur
C2X	Car to everything
C2C-CC	C2C Communication Consortium
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
DSRC	Dedicated Short Range Communications
E2ED	End-to-End-Delay
ESP	Elektronisches Stabilitätsprogramm
ETSI	Europäisches Institut für Telekommunikationsnormen
GLOSA	Green Light Optimized Speed Advisory
GSM	Global System for Mobile Communications
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ITS	Intelligent Transport System
Kfz	Kraftfahrzeug
LOS	Line of Sight (direkter Sichtkontakt)
LSA	Lichtsignalanlage

LTE	Long Term Evolution
MANet	Mobiles Ad-hoc-Netz
MIV	Motorisierter Individualverkehr
NLOS	Non Line of Sight (ohne Sichtkontakt)
OBU	On Bord Unit
OCIT	Open Communication Interfaces for Road Traffic Control Systems
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PER	Package Error Rate (Übertragungsqualität der Nachricht)
Pkw	Personenkraftwagen
QoS	Quality of Service
RSU	Road Side Unit
Rx	Empfänger
SAE	Sammlung Arbeitsrechtlicher Entscheidungen
SUMO	Simulation of Urban Mobility
Tx	Sender
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
V2V	Vehicle to Vehicle
V2X	Vehicle to everything
VANet	Vehicular Ad Hoc Network
vgl.	vergleiche
WAVE	Wireless Access in Vehicular Environments
WLAN	Wireless Local Area Network
z.B.	zum Beispiel

1. Einleitung

In diesem Kapitel wird in das Thema der Arbeit eingeführt. Zuerst wird die Motivation für das Thema dargestellt. Danach folgen die Ziele und der Aufbau der Arbeit.

1.1 Motivation

Das Zusammenwachsen der Technologien der Robotik und der Fahrzeugindustrie ermöglichen neue Möglichkeiten für Entwicklungen und Produkte an dieser Schnittstelle. Mobile Kleinstfahrzeuge und Roboter wie z.B. Lieferroboter, autonom fahrender Rollstuhl, und weitere, werden zukünftig den Straßen- und Verkehrsraum nutzen und mit anderen Verkehrsteilnehmern teilen. Dabei werden diese in der Lage sein, autonom den Verkehrsraum zu durchqueren. Die Vernetzung als Zukunftstechnologie ermöglicht den Kleinstfahrzeugen und den Robotern, den Verkehrsraum in Kooperation mit der Infrastruktur zu durchqueren und somit einen verkehrssicheren und qualitätsoptimierten Verkehrsablauf zu gewährleisten. Insbesondere an Knotenpunkten mit einer hohen Dichte der Verkehrsteilnehmer fördern kooperative Steuerverfahren diese Eigenschaften. Das DLR hat ein kooperatives Verfahren AGLOSA [1] entwickelt, das eine verkehrsabhängige Steuerung mit einer GLOSA - Funktionalität verknüpft. Durch die frühzeitige Erfassung der Fahrzeuge in den Zufahrten und deren Fahrtverlaufsprognose lassen sich die Fahrzeugankünfte an den einzelnen Haltelinien vorhersagen und die Freigabezeiten entsprechend optimieren. Für die Geschwindigkeitsanpassung werden die so errechneten Schaltzeitpunkte an die Fahrzeuge übermittelt.

Die Motivation das komplexe Thema anzugehen, entstand, weil es noch kein Verfahren gibt, mit dem die kleinen mobilen Roboter autonom eine Kreuzung oder Straße queren können. Diese mobilen Kleinstfahrzeuge und Roboter sind auf den Gehwegen und Straßen unterwegs. Dabei kommt es sehr oft vor, dass die Start- und Zielorte nicht zwangsläufig ohne Querung einer Kreuzung erreichbar sind, deshalb muss ein System entwickelt werden, das mobilen Kleinstfahrzeugen und Robotern eine Funktion zur Verfügung stellt, um die Kreuzung gefahrenlos queren zu können. Des Weiteren ist auch die Frage nicht geklärt, wie ein Systemansatz aussieht, der autonome Roboter in einem adaptiven Steuerverfahren berücksichtigt und das Überqueren der Kreuzung kooperativ ermöglicht. Diese Frage wird im Laufe der Arbeit geklärt. Dabei wird hier nur ein kleines Testszenario vorgestellt, dass eine kleine Kreuzung mit einer Fußgängerfurt beinhaltet. Außerdem wird auch die Routenimplementierung im Roboter nicht in dieser Arbeit erläutert, diese wird vorausgesetzt.

1.2 Zielsetzung

Ziel der Arbeit ist es, das kooperative Steuerverfahren AGLOSA so zu erweitern, dass es mobile Kleinstfahrzeuge und Roboter berücksichtigt. Eine Implementierung im Testlabor soll die Funktionsfähigkeit des Systems an einem Knotenpunkt nachweisen. Die Schwerpunkte liegen dabei bei der Definition der Anforderungen, wobei hier auch eine Verkehrsraumbetrachtung miteingeschlossen ist. Außerdem werden noch eine Erweiterung des kooperativen Steuerverfahrens und die Umsetzung des Kommunikationsprotokolls mit einem Erweiterungsvorschlag dieses Kommunikationsprotokolls untersucht.

Letztlich soll mit der Umsetzung dieser Masterarbeit eine Vernetzung der zwei Teilbereiche Roboter und die Verknüpfung mit einer Lichtsignalanlage erfolgen mit der Intention weitere Forschungsprojekte und -arbeiten generieren zu können. Diese sollen auf der einen Seite eine Integration für kleine mobile Roboter in den Verkehrsraum ermöglichen sowie auf der anderen Seite die Möglichkeit für die Industrie diese Roboter zu entwickeln und diese dann mit vielfältigen Möglichkeiten einzusetzen.

1.3 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit wird eingeleitet mit den Grundlagen zur C2X Kommunikation und den verwendeten Protokollen für die Nachrichtenübertragung. Der darauffolgende Abschnitt beschäftigt sich mit den grundlegenden Details zur C2X - Technologie. Es werden Vergleiche zwischen den unterschiedlichen Ansätzen getroffen, deren Vor- und Nachteile erklärt und ein Einblick in die Entwicklungsphasen und die Verbreitung des C2X Standards gegeben. Dies umfasst vor allem den Prozess von der Forschung bis zur Entwicklung und Einführung dieser neuen Technologie.

Derzeit gibt es nur sehr wenige Literatur, die sich mit der Kombination aus Lichtsignal Anlagen und kleinen mobilen Robotern befasst. Im Kapitel Stand der Technik werden die Ergebnisse der Patent- sowie Literaturrecherche näher erläutert. Außerdem wird anhand einer Recherche zu Forschungsprojekten gezeigt, dass sich bereits viele Universitäten und Forschungseinrichtungen mit Kooperativen Steuerverfahren und der Vernetzung im Verkehr beschäftigen. Abschließend werden dann noch die aktuell verfügbaren Robotersysteme aufgeführt, die jeweils mit ihren Eigenschaften – technisch sowie physikalisch – verglichen wurden. Darauf folgt das Kapitel mit den Anforderungen.

Anschließend befasst sich der Hauptteil der Arbeit mit den Kommunikationsprotokollen und dem Systemkonzept. Außerdem werden die verschiedenen Algorithmen zur Steuerung von Lichtsignalanlagen und Robotern, deren Einsatzmöglichkeit und die daraus resultierenden Vor- und Nachteile erörtern. Nach der Beschreibung der Umsetzungsphase werden im nachfolgenden Kapitel in Form einer Testphase die Ergebnisse der ersten Tests der Gesamtanwendung vorgestellt und ausgewertet. Abschließend werden die Ergebnisse validiert und es wird ein Ausblick in die Zukunft gegeben. Zudem wird es kurze Verkehrsraumbetrachtung geben, die für aufgetretene Probleme, nicht die perfekte Lösung gibt, aber eine Lösung, die erweitert werden kann. Schließlich erfolgt im letzten Kapitel eine Abschlussbetrachtung, in der die Ergebnisse der Arbeit noch einmal zusammengefasst werden und ein Ausblick für zukünftige Weiterentwicklungen gegeben wird.

1.4 Abgrenzung

Die Masterarbeit beschäftigt sich mit der Konzeption und der Umsetzung von einer Erweiterung des kooperativen Steuerverfahrens AGLOSA und Implementierung für Knotenpunkte zur Integration von kleinen mobilen Robotern in den verkehrssicheren und qualitätsoptimierten Verkehrsablauf. Dabei umfasst die Implementierung das Grundgerüst zur Vernetzung der beiden Techniken der Robotertechnik und der Steuerung und Verknüpfung von Lichtsignalanlagen in Form einer Kommunikation auf C2X Basis.

2 Grundlagen

In diesem Kapitel sollen die Grundlagen der Car to X - Kommunikation dargestellt und erklärt werden. Dies ist dahingehend wichtig, damit das Verständnis über diese Kommunikation in der Arbeit als Grundwissen vorausgesetzt wird, damit später die Zusammenhänge besser und leichter verstanden werden können.

2.1 C2X

2.1.1 Einführung in die C2X – Kommunikation

Die C2X Kommunikation beschreibt den Informationsaustausch zwischen Fahrzeugen, hier Car2Car abgekürzt zu C2C, beziehungsweise die Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur - Car2Infrastructure abgekürzt zu C2I. Der Austausch mit beliebig vielen Verkehrsteilnehmern oder auch Infrastruktureinheiten wird als C2X bezeichnet. Im englischsprachigen Raum wird auch sehr oft Vehicle anstelle von Car benutzt. Damit werden dann auch V2I – Vehicle to Infrastructure, V2V – Vehicle to Vehicle und V2X – Vehicle to X oft benutzt. In der Arbeit wird es bei C2X, sowie C2C bleiben.

Das Kommunikationssystem wird damit zu einem Intelligent Transportation System (ITS) vernetzt. Der Datenaustausch erfolgt dabei über drahtlose Funkkommunikation auf dem WLAN IEEE 802.11p Standard. [2]

2.1.2 Systemübersicht eines C2X Systems

Ein C2X-System setzt sich nach heutigem Stand sehr oft ausfolgenden drei Komponenten zusammen:

Zum einen aus einem mobilen Gerät mit einem Ortungs- und Übertragungsmodul. Diese On-Board-Units (OBU) sind intelligente Funktionseinheiten in Kraftfahrzeugen oder im Falle der Arbeit – kleine Boxen, die in den Fahrzeugen verbaut werden. Sie wurden bisher größtenteils für die automatische Erfassung und Abrechnung von Mautgebühren für zurückgelegte Fahrstrecken auf Bundesautobahnen und Bundesstraßen eingesetzt. [3]

Diese können aber auch für andere Dienste genutzt werden. Dies gilt insbesondere für die Navigation, Routenplanung und für die Erfassung und Speicherung von Diagnose- und Notfalldaten des Fahrzeugs oder Roboters. Neuerdings können sie die Car-to-Car-Communication (C2C), Car-to-Roadside-Communication (C2R) und die Car-to-Infrastructure-Communication (C2I) abwickeln. [4]

Bei diesen Konzepten kommuniziert die On-Board-Unit mit den Roadside Units (RSU). [5]
Das zweite Element sind Infrastrukturelemente mit einem Ortungs- und Übertragungsmodul, den so genannten Roadside Units. [5]

Diese bilden eine neue Kommunikationsinfrastruktur, die entlang der Verkehrswege, sei es nun Straßen oder normale Kreuzungen, wiederholend an festen Orten angebracht ist. Sie sind mit dem Internet oder anderen Netzen über Access Router verbunden und kommunizieren mit Fahrzeugen über deren On Board Units. Beispiele für diese RSUs sind Mautbrücken, Wechselbrücken, Verkehrshinweisschilder und auch Steuergeräte von Kreuzungen, welche mit neuer Kommunikationstechnik aufgerüstet sind. Sie können sowohl zur Kommunikation mit den Fahrzeugen als auch zur Verkehrsüberwachung, wie z. B. zur Stauanalyse und Zählung von Fahrzeugen auf einer bestimmten Fahrspur pro Zeit, eingesetzt werden. Im Unterschied zu Verkehrsanlagen, wie Lichtsignalanlagen oder Geschwindigkeitsbeschränkungen, kommunizieren Roadside Units bidirektional mit den Fahrzeugen und beispielsweise einer Verkehrsleitstelle. Dies ermöglicht einen gegenseitigen Informationsaustausch. Fahrzeuge können sowohl aktuelle Verkehrsdaten über ihre On Board Unit an die Roadside Units senden als auch Daten wie Stau- oder Wetterwarnungen von ihnen empfangen. [4]

Als dritte Komponente gibt es oft eine Leitstelle, die sich um die zentrale Datenerfassung und die Weiterverteilung der Daten kümmert. [5]

2.1.3 Funktionen der C2X Kommunikation

Die Hauptfunktionen von C2X lassen sich in so weit beschreiben, dass die Verkehrsoptimierung eine große Rolle spielt. Unter dieser Funktion lassen sich dann die Erfassung der Verkehrslage sowie die Bereitstellung von Verkehrsinformation und Navigationsaufgaben verknüpfen. Eine weitere Unteraufgabe ist die Verkehrssteuerung im Urbanen Raum.

Die nächste Hauptaufgabe wäre die Standardaufgabe und behandelt die Bewegung von Fahrzeugen und mobilen Robotern. Hierbei geht es um die Sicherheit der einzelnen Teilnehmer in Bezug auf lokale Gefahrenwarnung und die mittlerweile häufig verbauten Fahrerassistenzsysteme. Dazu kommen noch ergänzende Dienste, die dem Infotainment der Benutzer dienlich sein sollen. Dazu gehören der Internetzugang und lokale Informationsdienste, wie Verkehrsmeldungen, aber auch Fernwartungsdienste den Zugriff bei Problemen geben können. Außerdem können über C2X Zugangskontrolle und Zahldienste abgehandelt werden. Die wichtigste Funktion in diesem Bereich ist die Alarmierung von Rettungsdiensten über einen Notruf. [6]

2.1.4 Standardisierungen bei C2X

In Europa basiert die C2X - Kommunikation auf der Dedicated Short Range Communication (DSRC). Es stehen mit IEEE 802.11p ein neu geschaffenes und mit UMTS ein erprobtes Funkssystem für DSRC zur Verfügung. [4] LTE, als noch nicht ausreichend flächendeckend eingeführter Nachfolger von UMTS, lässt auf deutlich höhere Datenübertragungsraten und kürzere Latenzzeiten hoffen, sodass beispielsweise Unfälle mit nur minimaler Verzögerung an zentrale Leitstellen gemeldet werden können. IEEE 802.11p wurde sowohl für die C2C als auch C2I entwickelt und ist in der Lage, zuverlässig sicherheitsrelevante Daten als auch Infotainment-Daten zu übertragen. [7]

Es hat sich ein Konsortium aus den größeren Automobilherstellern und -zulieferern sowie von führenden Forschungseinrichtungen zusammengeschlossen, welches die Frequenzbereiche festgelegt hat. In Abbildung 1 hat das Car2Car-Communication (C2C-CC) für die Nachrichtenübertragung dabei länderspezifische Frequenzbereiche reserviert: [9]

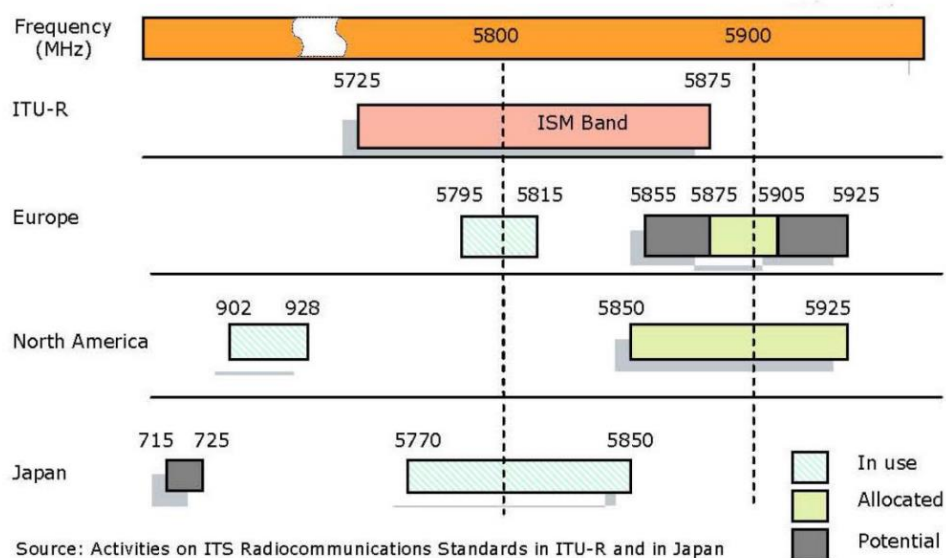


Abbildung 1 - Verwendete Frequenzbänder für VANET in Industrieländern [8]

2.1.5 IEEE 802.11

Der IEEE 802.11p Standard stammt aus der Zuweisung des Dedicated Short Range Communications - Spektrum Bands. Schon im Jahr 1999 ordnete die Federal Communications Commission den 75MHz Bereich des DSRC bei 5,9GHz ein. Dieser Frequenzbereich sollte ausschließlich für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug- und Infrastruktur-zu-Fahrzeug-Kommunikation verwendet werden. Das DSRC – Spektrum ist in sieben 10 MHz breite Kanäle strukturiert. Dabei ist der Kanal 178 der Steuerkanal (CCH), der nur auf die Sicherheitskommunikation beschränkt ist. Die zwei Kanäle an den Enden des Spektrums sind für spezielle Anwendungen reserviert. Der Rest sind Servicekanäle (SCH), die sowohl für die Sicherheit als auch für die Nicht-Sicherheitsnutzung verfügbar sind. [10] [Abbildung 2 - Aufteilung der Frequenz]

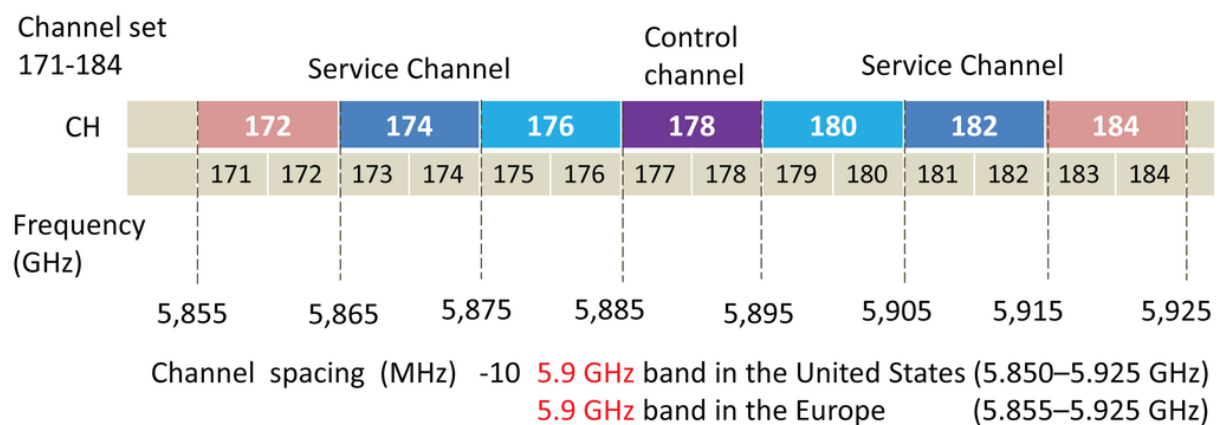


Abbildung 2 - Aufteilung der Frequenz [11]

Das DSRC-Band ist ein kostenloses, aber lizenziertes Spektrum. Es ist kostenlos, da die Federal Communications Commission (FCC) keine Gebühr für die Frequenznutzung erhebt. Das DSRC-Band ist in Bezug auf die Verwendungen und Technologien eingeschränkt. Es muss bzw. darf nur für die Fahrzeugkommunikation benutzt werden. [10]

Innerhalb vom Standard IEEE 802.11 ist das DSRC als IEEE 802.11p (WAVE) benannt. IEEE 802.11p ist somit kein eigenständiger Standard. Es ist beabsichtigt, den gesamten IEEE 802.11-Standard zu ändern, so dass WAVE als ein internationaler Standard dienen soll, der in anderen Teilen der Welt sowie in den USA anwendbar ist. Der IEEE 802.11p-Standard soll benötigt werden, um in einer sich schnell ändernden Umgebung zu arbeiten und Nachrichten auszutauschen. [10]

2.1.6 IEEE 1609

Die IEEE 1609-Normenfamilie definiert die folgenden Teile: Architektur, Kommunikationsmodell, Führungsstruktur, Sicherheitsmechanismen und physischer Zugang für Hochgeschwindigkeits- mit einer Geschwindigkeit von $< 27\text{Mbit/s}$, kurze Reichweite ($< 1000\text{m}$) und drahtlose Kommunikation mit niedriger Latenz in der Fahrzeugumgebung. Die primären architektonischen Komponenten, die durch diese Standards definiert werden, sind die On-Board-Unit (OBU), die Road Side Unit (RSU) und die WAVE-Schnittstelle.

Der Standard IEEE 1609.3 umfasst die Einrichtung und Verwaltung der WAVE-Verbindung. Der IEEE 1609.4-Standard befindet sich direkt auf dem IEEE 802.11p und ermöglicht den Betrieb der oberen Schichten über mehrere Kanäle hinweg, ohne dass Parameter bekannt sein müssen. In Abbildung 3 wird deutlich, wie sehr die Bandbreite von der Anzahl der RSUs und der Distanz zwischen diesen RSUs abhängt. Bei der grünen Linie wird deutlich, dass nach etwa 1500m keine Datenpakete mehr an der anderen RSU ankommen. Wenn der Abstand von etwa 1000m zwischen den RSUs vorhanden ist, kann eine dauerhaft gute Verbindung geschaffen werden. [12]

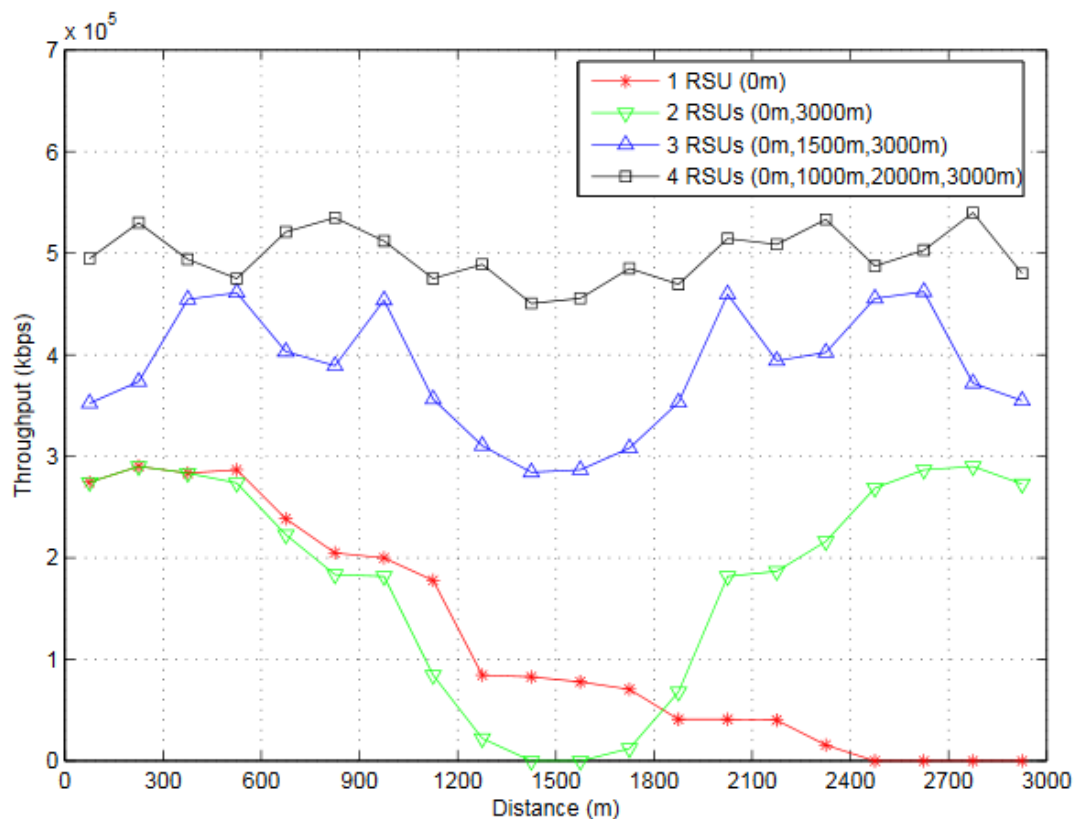


Abbildung 3 - IEEE 1609 - Bandbreite zur Entfernung [7]

2.1.7 Architektur der C2X-Schichten

Das Protokoll des Intelligenten Transports System (ITS) - Netzwerks basiert auf dem ISO/OSI Schichtenmodell für allgemeine Netzwerke, wie in Abbildung 4 zu sehen ist. Das C2X-Protokoll ist für das ITS-Netzwerk in Europa vom „Car2Car Communication Consortium“ (C2C-CC) entwickelt worden und vom „European Telecommunications Standards Institute“ (ETSI) standardisiert.

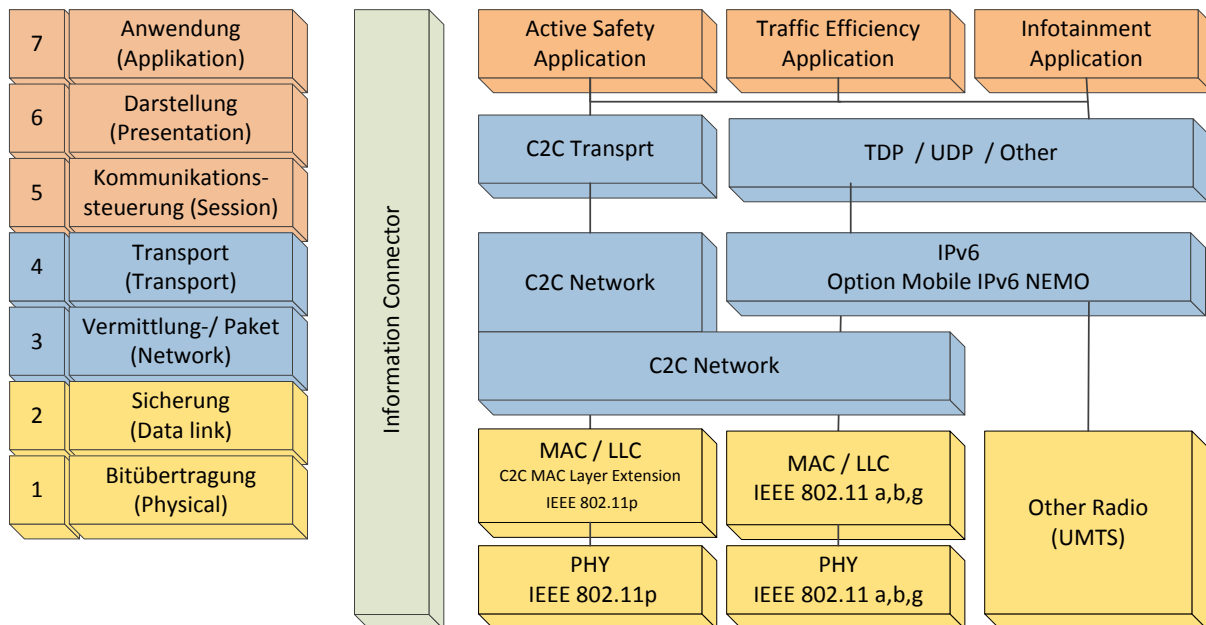


Abbildung 4 - ISO/OSI Schichtenmodell eines Netzes (links) und das C2C-Protokoll

Der IEEE 802.11p-Standard, welcher in Abschnitt 2.4.1 beschrieben wurde, spezifiziert die Sicherungsschicht, hier die MAC-Layer und die Bitübertragungsschicht - PHY-Layer des ISO/OSI Schichtenmodells. Dieser Standard wurde extra für die Datenübertragung von sicherheitskritischen Nachrichten entwickelt. Außerdem ermöglichen die 802.11a/b/g Standards die Übertragung von nicht-kritischen Anwendungen.

2.1.8 Konvoi-Bildung

Der Güterverkehr per LKW wird in Deutschland in den nächsten Jahren weiter ansteigen. Derzeit ist dies auf die Exportgüter zurückzuführen. Deshalb erfordert dieses Problem eine effiziente Nutzung des bestehenden Straßennetzes. Durch die Vernetzung der Fahrzeuge versuchen die LKW Hersteller, diese effiziente Nutzung auf die Straße zu bringen. Die modernen LKWs werden dabei mithilfe der elektronischen Deichsel virtuell aneinandergehängt. So können bis zu zehn Fahrzeuge gekoppelt werden. Durch eine Reaktionszeit des Systems von ca.

0,1 Sekunde können Abstände von zehn Metern zwischen den Fahrzeugen realisiert werden. Platooning ist damit ein erster Schritt hin zum autonomen Fahren für LKWs. Dabei geht es hauptsächlich um die Reduktion des Kraftstoffverbrauches durch Verringerung des Luftwiderstandes und die Reduzierung von Abständen zwischen den Fahrzeugen bei gleichzeitigem Sicherheitsgewinn. [13]

Nachrichtenaustausch bei der Konvoibildung [14]

Einteilung in vier Klassen, abhängig von der Dauer T_{V2V} zwischen zwei Fahrzeugen, für zwei korrekt empfangene Nachrichten:

- $T_{V2V} < 200\text{ms}$: Platooning unverändert
- $200\text{ms} < T_{V2V} < 1000\text{ms}$: Aktualisierung der Kontrollparameter auf Basis der zuletzt verfügbaren Information
- $1000\text{ms} < T_{V2V} < 3000\text{ms}$: sukzessive Abstandsvergrößerung zwischen zwei Fahrzeugen
- $T_{V2V} > 3000\text{ms}$: Abbruch des Platoonings

Hierbei werden die Roboter virtuell aneinandergeschaltet, um die Wege an der Kreuzung besser ausnutzen zu können. Sollte einmal die Kommunikationsdauer erhöht sein, so können sich die Roboter aus ihrem Platoon aushängen und einzeln die Kreuzung überqueren.

2.1.9 Routingproblem bei C2X

Da sich die Topologie des Netzwerks ständig ändert, wird das Problem, Pakete zwischen jedem Knotenpaar zu routen, zu einer herausfordernden Aufgabe. In einem MANet können die Router und Hosts mobil sein und die Interrouter-Konnektivität kann sich während des normalen Betriebs häufig ändern. Im Gegensatz dazu besitzt das Internet (wie die meisten Telekommunikationsnetze) eine quasi-feste Infrastruktur, die aus Routern oder Switches besteht, die Daten über festverdrahtete Verbindungen weiterleiten. Herkömmlicherweise schließen sich Endbenutzergeräte wie Hostcomputer oder Telefone an diese Netze an festen Orten an. Als Folge werden ihnen Adressen, basierend auf ihrer Position in einer festen Netzwerk-Adressierungshierarchie zugewiesen. Es vereinfacht das Routing in diesen Systemen, da sich der Standort eines Benutzers nicht ändert.

Die Endgeräte sind zunehmend mobil, das heißt sie können ihren Anknüpfungspunkt an die feste Infrastruktur ändern. Dies ist das Paradigma der Mobiltelefonie und ihres äquivalenten,

mobilen Datennetzwerks. Bei diesem Ansatz hängt die Identität eines Benutzers davon ab, ob der Benutzer eine ortsabhängige und somit temporäre oder eine ortsunabhängige bzw. permanente Kennung annimmt. Benutzer mit temporären Kennungen werden manchmal als nomadisch bezeichnet, während Benutzer mit permanenten Kennungen als mobil bezeichnet werden. Der Unterschied besteht darin, dass sich nomadische Benutzer zwar bewegen können, die meisten netzwerkbezogenen Funktionen jedoch an einem festen Standort ausführen. Mobile Benutzer müssen "unterwegs" arbeiten, um die Anhängpunkte nach Bedarf zu ändern. In jedem Fall kann eine zusätzliche Netzwerkunterstützung erforderlich sein, um den Standort eines Benutzers in dem Netzwerk zu verfolgen, so dass Informationen an den aktuellen Standort unter Verwendung der Routing-Unterstützung innerhalb der traditionelleren festen Hierarchie weitergeleitet werden können. [14]

Das Internet ist kaum darauf abgestimmt, Mobilität während der Datenübertragung zu ermöglichen, da Protokolle nicht für Geräte konzipiert sind, die häufig ihren Anschlusspunkt in der Topologie ändern. Typischerweise ändert sich die physische IP-Adresse jedes Mal, wenn ein mobiler Knoten seinen Anschlusspunkt ändert, und somit seine Erreichbarkeit für die Internet-Topologie. Dies führt dazu, dass Pakete während des Transports verloren gehen und Transportprotokollverbindungen unterbrochen werden, wenn die Mobilität nicht von bestimmten Diensten gehandhabt wird. Der Protokollstapel muss daher mit der Fähigkeit ausgestattet werden, Netzwerke während Datenübertragungen zu kreuzen, ohne die Kommunikationssitzung zu unterbrechen und mit minimalen Übertragungsverzögerungen und Signalisierungs-Overhead. Dies wird üblicherweise als Mobilitätsunterstützung bezeichnet. Host Mobility Support wird von Mobile IPv6 unterstützt. Im Gegensatz dazu ist es das Ziel von mobilem Ad-hoc-Networking, die Mobilität in den Bereich autonomer, mobiler, drahtloser Domänen auszudehnen, bei denen eine Gruppe von Knoten, die kombinierte Router und Hosts sein können, selbst die Netzwerk-Routing-Infrastruktur ad hoc bilden. Mit Mobile Ad Hoc Networking kann sich die Routing-Infrastruktur mit den Endgeräten mitbewegen. Somit können sich die Routing-Topologie der Infrastruktur und die Adressierung innerhalb der Topologie ändern. In diesem Paradigma bestimmt die Zuordnung eines Endnutzers zu einem mobilen Router (dessen Anknüpfungspunkt) seinen Standort im MANet. [15]

Wie oben erwähnt, kann die Identität eines Benutzers vorübergehend oder dauerhaft sein. Die grundlegenden Unterschiede in der Zusammensetzung der Routinginfrastruktur (fest, fest verdrahtet und bandbreitenintensiv im Gegensatz zu dynamischen, drahtlosen und bandbreitenbeschränkten Systemen) führen dazu, dass ein Großteil der Steuerungstechnologie der festen Infrastruktur nicht mehr sinnvoll ist. Die Routing-Algorithmen der Infrastruktur und ein

Großteil der Netzwerk-Suite müssen überarbeitet werden, um in einer mobilen Umgebung effizient und effektiv zu funktionieren. Multicast-Routing (Übermittlung von Informationen an eine Gruppe von Zielgeräten gleichzeitig in einer einzigen Übertragung) ist eine weitere Herausforderung, da der Multicast-Baum aufgrund der zufälligen Bewegung von Knoten innerhalb des Netzwerks nicht mehr statisch ist. Routen zwischen Knoten können möglicherweise mehrere Hops enthalten, was komplexer ist als die Einzelsprung-Kommunikation. [16]

2.1.10 Sicherheit (Security) bei C2X

Neben den üblichen Schwachstellen der drahtlosen Netzwerkverbindung hat ein Ad-hoc-Netzwerk seine besonderen Sicherheitsprobleme. Mobile Hosts schließen sich spontan an und erstellen ein eigenes Netzwerk. Da sich die Netzwerktopologie dynamisch ändert und zentrale Funktionen für das Netzwerkmanagement fehlen, sind diese Netzwerke anfällig für eine Reihe von Angriffen. Die Sicherheit in drahtlosen Ad - hoc - Netzwerken ist aufgrund der Anfälligkeit der Verbindungen, des begrenzten physischen Schutzes jedes der Knoten, der sporadischen Natur der Konnektivität, der sich dynamisch ändernden Topologie und des Fehlens einer Zertifizierungsstelle und das Fehlen eines zentralen Überwachungs- oder Verwaltungspunkts. Die drahtlosen Verbindungen zwischen Knoten sind sehr anfällig für Verbindungsangriffe, zu denen die folgenden Bedrohungen gehören. [17]

- Passives Abhören
- Aktive Störung von Dritten
- Weiterleitung von geheimen Informationen
- Datenmanipulation
- Identitätswechsel
- Nachrichtenwiedergabe oder -verzerrung
- Denial of Service (DoS)

Lauschangriffe können einem Angreifer den Zugang zu geheimen Informationen ermöglichen, was die Vertraulichkeit verletzt. Aktive Angriffe ermöglichen es dem Angreifer möglicherweise, Nachrichten zu löschen, fehlerhafte Nachrichten zu senden, Nachrichten zu ändern und die Identität eines Knotens zu übernehmen. Dies verletzt Verfügbarkeit, Integrität, Authentifizierung und Authentizität - diese und andere Sicherheitsanforderungen werden im nächsten Abschnitt behandelt. Ad-hoc-Netzwerke verfügen nicht über ein zentralisiertes Gerät wie einen Nameserver, der zu einem einzigen Fehlerpunkt führen und somit das Netzwerk

anfälliger machen könnte. Die kompromittierten Knoten können scheinbar korrekt arbeiten, aber gleichzeitig können sie die Fehler und Inkonsistenzen in dem Routing-Protokoll nutzen. Darüber hinaus können solche bösartigen Knoten auch neue Routing-Nachrichten erstellen und nicht vorhandene Verbindungen ankündigen, falsche Verbindungsstatusinformationen bereitstellen und andere Knoten mit Routing-Verkehr überfluten, wodurch das System nicht mehr richtig funktioniert. Solche Fehler sind schwerwiegend, da sie von scheinbar vertrauenswürdigen Knoten stammen können. Selbst wenn es die nicht kompromittierten Knoten bemerken und dann die falschen Aktionen nicht auszuführen, können die fehlerhaften Informationen bereits durch das Netzwerk verbreitet worden sein. Schließlich ist Skalierbarkeit ein weiteres Problem, das bei der Entwicklung von Sicherheitslösungen angegangen werden muss, und zwar aus dem einfachen Grund, dass ein Ad-hoc-Netzwerk aus Hunderten oder sogar Tausenden von Knoten bestehen kann. Die Skalierbarkeitsanforderungen wirken sich direkt auf die Anforderungen aus, die auf verschiedene Sicherheitsdienste wie die Schlüsselverwaltung abzielen. Diese Sicherheitslücken ermöglichen eine Vielzahl von speziellen Angriffen in den Fahrzeugnetzen, einschließlich, aber nicht beschränkt auf die folgenden Beispiele:

Verbreitung von falschen Informationen im Netzwerk, die der Angreifer verbreitet, um das Verhalten anderer Fahrer zu beeinflussen, hier als Beispiel den Verkehr von einer bestimmten Straße abzuleiten und ihn somit für sich selbst freizugeben.

Ein Angreifer könnte auch mit dem Betrug von Sensorinformationen einen Angriff starten, mit dem er das System täuschen will, um seine Position, Geschwindigkeit, Richtung usw. zu ändern. [17]

Offenlegung von anderen Fahrzeugen, um ihren Standort zu verfolgen. Dieses Szenario, bei dem ein globaler Beobachter die Trajektorien von Zielfahrzeugen überwacht und diese Daten für eine Reihe von Zwecken verwenden kann. Um den globalen Beobachter zu überwachen, kann er sich auf die straßenseitige Infrastruktur oder die Fahrzeuge um sein Ziel herum konzentrieren z. B. durch Verwenden eines Virus, der Nachbarn des Ziels infiziert und die erforderlichen Daten sammelt. [8]

Denial of Service: Der Angreifer möchte das mobile Ad Hoc Netzwerk möglicherweise zum Absturz bringen oder sogar einen Unfall verursachen. Beispielhafte Angriffe umfassen massenhafte Kanalstörung und aggressive Injektion von Dummy-Nachrichten.

Maskerade: Der Angreifer gibt sich durch falsche Identitäten aktiv als ein anderes Fahrzeug aus und kann durch böswillige Ziele motiviert werden. [17]

2.1.11 Dienstgüte - Quality of Service

Das Ziel der Quality of Service (QoS) - Unterstützung ist es, ein echtzeitfähiges Kommunikationsverhalten zu erreichen, so dass Informationen, die von dem Netzwerk getragen werden, besser priorisiert werden können und Netzwerkressourcen besser ausgenutzt werden können. Der Begriff QoS ist eine Vereinbarung oder eine Garantie durch das Netzwerk, um dem Benutzer eine Reihe von messbaren, vorab festgelegten Dienstattributen in Bezug auf Netzwerkverzögerung, Verzögerungsvarianz, verfügbare Bandbreite, Wahrscheinlichkeit des Paketverlusts bereitzustellen. Die Fähigkeit eines Netzwerks, eine bestimmte QoS bereitzustellen, hängt von den Eigenschaften des Netzwerks selbst ab, die sich über alle Elemente im Netzwerk erstrecken. Für die Übertragungsverbindung umfassen die Eigenschaften Verbindungsverzögerung, Durchsatz, Verlustrate und Fehlerrate. Die drahtlose Verbindung hat eine geringe, zeitlich variierende hohe Übertragungskapazität mit einer relativ hohen Fehlerrate und Verlustrate. Darüber hinaus machen es die möglichen verschiedenen drahtlosen physikalischen Technologien, die Knoten gleichzeitig verwenden können, für einen gleichbleibenden QoS schwierig. In Abbildung 5 wird deutlich, dass mit steigender Anzahl an Fahrzeugen eine hohe Datenrate nicht mehr gehalten werden kann. [18]

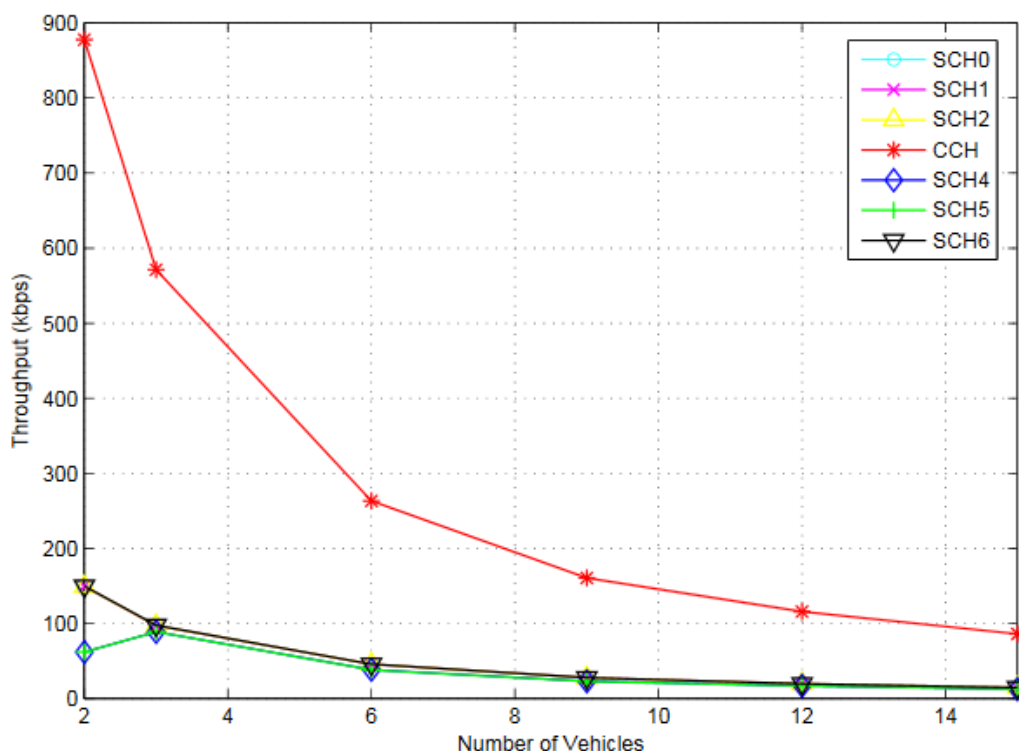


Abbildung 5 - Bandbreite zum Verhältnis der Fahrzeuge [10]

2.1.12 Herausforderungen und Grenzen der C2X-Kommunikation

Energieverbrauch - bei den meisten leichten mobilen Endgeräten und auch den eingebauten automobilen OBUs sollten die kommunikationsbezogenen Funktionen für einen niedrigen Stromverbrauch optimiert werden. Die Erhaltung von Strom und Stromführung muss berücksichtigt werden. Außerdem wird nur eine begrenzte Bandbreite bei 802.11p zur Informationsübertragung zur Verfügung gestellt. Das heißt, dass die Algorithmen zur Kollisionsvermeidung essentiell sind und die Kanalauslastung und Kollisionen mit zunehmender Verkehrsdichte – hier kritisch sind vor allem Kreuzungsbereiche – ein enorm wichtiger Faktor ist. Die Erreichbarkeit der Netzknoten (OBU) sinkt mit steigender Verkehrsdichte. Das Problem tritt etwa ab 25 Fahrzeugen je Spur auf. Kann aber auch schon davor auftreten. [19]

End-to-End-Delay (E2ED) steigt für alle Weiterleitungsalgorithmen mit zunehmender Verkehrsdichte. Hier ist eine kritische Zahl erreicht, wenn etwa 25 Fahrzeugen je Spur unterwegs sind. [19]

Dazu kommt, dass die Zuverlässigkeit der Datenübertragung abhängig ist vom Abstand zwischen Sender und Empfänger und den Zwischenknoten im Ad-hoc Netzwerk. Diese Zuverlässigkeit der Datenübertragung hängt sehr stark von Umgebungsbedingungen, wie dem Stadtgebiet oder eher ländlich, beziehungsweise Umland ohne nennenswerte hohe Bebauung ab. Unterschiede hierbei resultieren aus den verschiedenen Bebauungen, Geschwindigkeiten und Verkehrsdichten.

Nachfolgende Tabelle 1 zeigt das Testergebnis von C2C-Kommunikation auf einer Autobahn und in einem städtischen Gebiet. Folgende Abkürzungen wurden verwendet:

- | | |
|--------|---|
| – Tx | Sender |
| – Rx | Empfänger |
| – LOS | Line of Sight (direkter Sichtkontakt) |
| – NLOS | Non Line of Sight (ohne Sichtkontakt) |
| – PER | Package Error Rate (Übertragungsqualität der Nachricht) |

Tabelle 1 - Auswertung C2C Kommunikation

Straßentyp	Geschwindigkeit	Setup	Entfernung TX zu RX		Klasse	PER in [%]
			zeitlich[sek]	& örtlich[m]		
Stadt	30-50	TX - RX	3	33	LOS	1
Stadt	30-50	TX - RX	1,5	17	LOS	< 0,1
Stadt	30-50	TX – Sprinter - RX	3	33	NLOS	7,3
Autobahn	110	TX - RX	6	180	LOS	17
Autobahn	110	TX – PKW - RX	6	180	NLOS	40
Autobahn	110	TX – Van - RX	6	180	NLOS	81
Autobahn	110	TX – 7,5t LKW - RX	6	180	NLOS	96
Autobahn	110	TX – 40t LKW - RX	6	180	NLOS	96

Das Ergebnis ist Folgendes:

Es gibt einen signifikanten Unterschied in der Übertragungsqualität zwischen städtischem Verkehr und dem auf der Autobahn. Die Package Error Rate steigt mit zunehmender Geschwindigkeit, sowie einer zunehmenden Entfernung und Non Line of Sight – wenn hohe Gebäude, Natur oder andere Fahrzeuge die Sicht versperren. Ein sehr kleiner Wert für den PER ist anzustreben, aber fast niemals zu erreichen, da es in der Umwelt zu viele Störungen gibt. Somit ist zum Teil die Gewährleistung von Übertragungssicherheit, Datenschutz und Datensicherheit nicht mehr gegeben. [14]

2.2 Nachrichten Übertragungsverfahren

Adhoc Netzwerke - Mobile Ad-hoc-Netzwerk

Bislang gibt es nur zwei verschiedene Ansätze, um drahtlose mobile Einheiten miteinander kommunizieren zu lassen, zum einen die infrastrukturbasierte und zum anderen die ad hoc Methode. Drahtlose Mobilfunknetze basierten traditionell auf dem Mobilfunkkonzept und beruhten auf einer guten Infrastrukturunterstützung, bei der Mobilgeräte mit Zugangspunkten oder Basisstationen kommunizieren, die an die Festnetzinfrastuktur angeschlossen sind. Typische Beispiele für diese Art von drahtlosen Netzwerken sind GSM, UMTS, LTE und WLAN. [20]

In mobilen Ad-hoc-Netzwerken können sich Systeme beliebig bewegen. Ein mobiles Ad-hoc-Netzwerk wird üblicherweise als MANet bezeichnet. Ein mobiles Ad Hoc Netzwerk schafft die Grundlage für die Verbindung zwischen Fahrzeugen. Ein Ad Hoc Netzwerk ist eine Sammlung von drahtlosen mobilen Geräten, die dynamisch ein Netzwerk bilden, um Informationen auszutauschen, ohne eine bereits bestehende Festnetz-Infrastruktur oder eine zentralisierte Verwaltung zu verwenden.

Dabei wird der Datenverkehr direkt oder indirekt über die Teilnehmer abgewickelt. Die Teilnehmer sind untereinander drahtlos verbunden. [20] Wie ein beispielhaftes Ad-Hoc Netzwerk aufgebaut ist, wird in Abbildung 6 dargestellt. Dort sind fünf Teilnehmer, die untereinander vernetzt sind und nur ein Teilnehmer hat Zugriff auf das Internet. Dieser eine Teilnehmer versorgt aber alle Teilnehmer mit der Verbindung zum Internet.

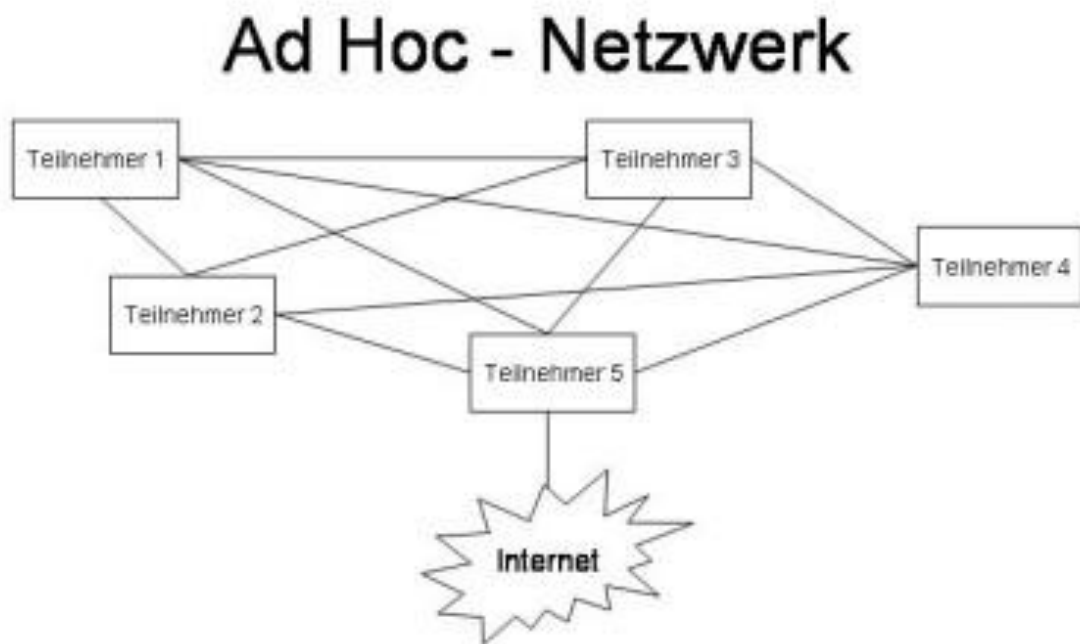


Abbildung 6 - Aufbau eines Ad Hoc Netzwerkes [21]

Ad Hoc Netzwerke sind ein sehr wichtiger Teil der Kommunikationstechnologie, bei der der Informationsaustausch zwischen mobilen Einheiten nicht auf einer festen Netzwerkinfrastruktur beruht. Da mobile Ad-hoc-Netzwerke ihre Topologie häufig und ohne vorherige Ankündigung ändern, ist das Routing in solchen Netzwerken eine herausfordernde Aufgabe. Die Topologien in Ad-hoc-Netzwerken unterscheiden sich erheblich von denen in einem drahtlosen Infrastrukturnetzwerk. [22]

Peer-To-Peer	Kommunikation zwischen zwei Knoten, die sich innerhalb eines Hops befinden. Der Netzwerkverkehr ist normalerweise konsistent.
Remote-zu-Remote	Kommunikation zwischen zwei Knoten über einen einzelnen Hop hinaus, die jedoch eine stabile Route zwischen ihnen aufrechterhalten.
Dynamischer Verkehr	Dies tritt auf, wenn Knoten dynamisch sind und sich bewegen, dabei müssen die Routen rekonstruiert werden. Dies führt zu einer schlechten Konnektivität und einer sehr hohen Netzwerkaktivität.

Autonomes Terminal	In einem mobilen Ad Hoc Netzwerk ist jedes mobile Endgerät ein autonomer Knoten, der sowohl als Host als auch als Router fungieren kann.
Verteilter Betrieb	Da es kein Hintergrundnetzwerk für die zentrale Steuerung der Netzwerkoperationen gibt, wird die Steuerung und Verwaltung des Netzwerks auf die Endgeräte verteilt.
Dynamische Netztopologie	Da die Knoten mobil sind, kann sich die Netzwerktopologie die typischerweise ein Multi-Hop ist, schnell und unvorhersehbar ändern. Die mobilen Knoten im Netzwerk erstellen ein dynamisches Routing untereinander und bilden ihr eigenes Netzwerk im laufenden Betrieb.
Multi-Hop-Routing	Grundlegende Arten von Ad-hoc-Routing-Algorithmen können Single-Hop und Multi-Hop sein, basierend auf verschiedenen Link-Layer-Attributen und Routing-Protokollen. Single-Hop ist in Bezug auf Struktur und Implementierung einfacher als Multi-Hop, mit den Kosten für weniger Funktionalität und Anwendbarkeit. [23]

Begrenzte physische Sicherheit: Mobilfunknetze sind im Allgemeinen physischen Sicherheitsbedrohungen stärker ausgesetzt als Festnetznetze. Die erhöhte Möglichkeit von Abhör-, Spoofing- und Denial-of-Service-Angriffen sollte sorgfältig abgewogen werden. Bestehende Link-Sicherheitstechniken werden häufig in drahtlosen Netzwerken angewendet, um Sicherheitsbedrohungen zu reduzieren. [24]

2.2.1 Nachrichtenübertragung C2X

In diesem Abschnitt werden die verschiedenen Übertragungsverfahren bei der C2X Kommunikation erläutert.

2.2.1.1 GeoUnicast

Es wird eine direkte Punkt-zu-Punkt Verbindung zu genau einem spezifischen Fahrzeug aufgebaut, dies kann über mehrere Teilnehmer erfolgen. [14]

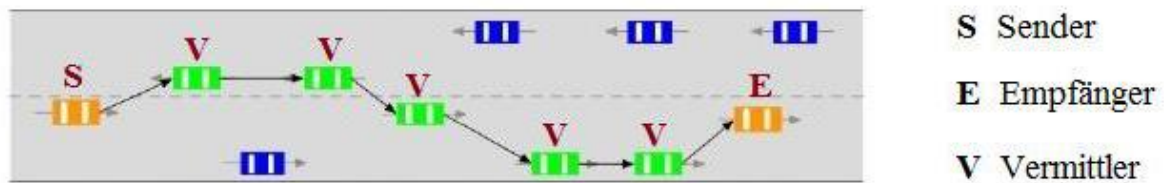


Abbildung 7 - GeoUnicast [2]

2.2.1.2 GeoBroadcast

Besonderer Fall des topologischen Broadcast. Nachrichten werden auf die direkten Nachbarn verteilt und nicht durch multi-hop Kommunikation weitergeleitet.

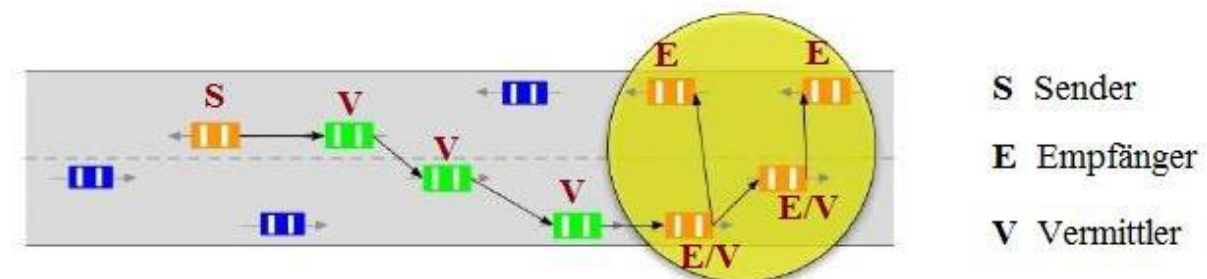


Abbildung 8 - GeoBroadcast [2]

2.2.1.3 Topologically-Scoped Broadcast

Daten-Transport-Service von einem einzelnen Knoten (Quelle) zu allen Knoten in einem Ad-hoc- Netzwerk.

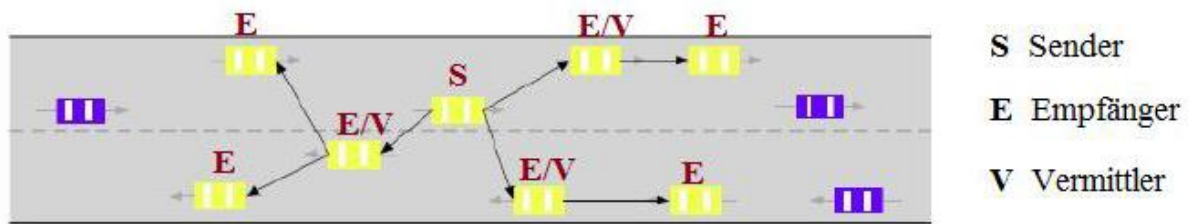


Abbildung 9 - Topologically-Scoped Broadcast [2]

2.2.1.4 GeoAnycast

Daten-Transport-Service von einem einzelnen Knoten (Quelle) zu Knoten in einer konkreten geographischen Umgebung.

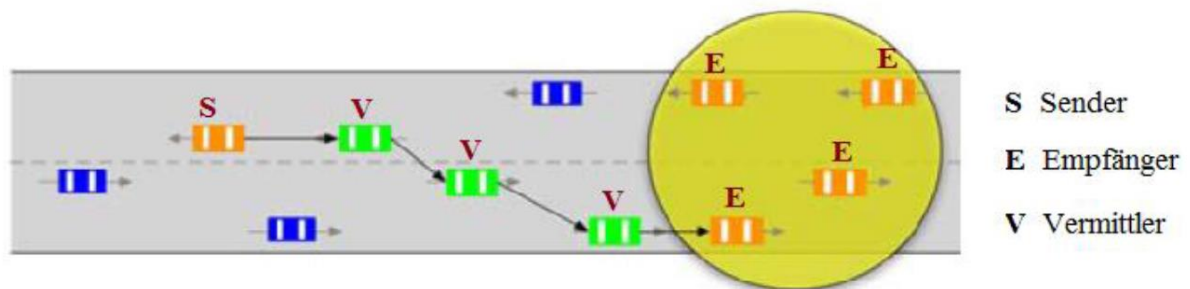


Abbildung 10 - Geoanycast [2]

2.2.2 Nachrichtenarten - Standardisierte Botschaften in Europa

2.2.2.1 C2C Botschaften

CAM	Cooperative Awareness Message: Zeitgesteuert, Informationen über Anwesenheit, Position und Geschwindigkeit einer OBU
DENM	Decentralized environmental Notification Message: Ereignisgesteuert, Einsatzfahrzeugwarnung, Gefahrenwarnung

2.2.2.2 C2I Botschaften

SPaT	Signal Phase and Timing: Aktuelle Zustandsbeschreibung der LSA, Restlaufzeiten der Signale für jede Fahrspur
MAP	Map Data Message: Zusammenstellung geografischer und topografischer Streckeninformationen
PDM	Probe Data Management Message und PVD Probe Vehicle Data Message: Informationen über die aktuelle Verkehrslage und Reisebedingungen
SRM	Signal Request Message und SSM Signal Status Message: Vorzugsanfrage und Antwort einer OBU an eine RSU, z.B. beim Überqueren einer Kreuzung
IVI	In Vehicle Information: Reiseinformation für Fahrer und Fahrzeug (z.B. Verkehrszeichen) [20]

Standardisierte Botschaften aus SAE J2735 [25]

Spezifikation von Inhalt und Format der Botschaften für DSRC

BSM	Basic Safety Message Part 1: zeitgesteuert (10Hz), Kernelemente wie die Fahrzeugposition, -größe, -geschwindigkeit, -richtung, -beschleunigung, sowie dem Bremsstatus Part 2: eventabhängig (z.B. ABS), zusätzliche Ergänzung zu Part 1
CSR	Common Safety Request Abfrage zusätzlicher Informationen für Part 2 der BSM für Sicherheitsanwendungen eines Fahrzeuges
EVA	Emergency Vehicle Alert Einsatzfahrzeugwarnung
ICA	Intersection Collision Avoidance - Verarbeitung der Fahrzeugdaten zur Kollisionsvermeidung im Kreuzungsbereich
MAP	Zusammenstellung geografischer und topografischer Streckeninfos
NMEA	Erhöhung der Positionsgenauigkeit

PDM	Probe Data Management und PVD Probe Vehicle Data Datenaustausch von OBU und RSU bzgl. eines typischen Reiseverhaltens/ Reisebedingungen, Informationen über die aktuelle Verkehrslage
RSA	Road Side Alert Gefahrenwarnung (z.B. vereiste Straße, Zug am Bahnübergang)
RTCM	Correction Radio Technical Commission for Maritime Services Erhöhung der Positionsgenauigkeit
SPaT	Aktuelle Zustandsbeschreibung der LSA, Restlaufzeiten der Signale für jede Fahrspur
SRM	Signal Request Message Vorzugsanfrage einer OBU an eine RSU (z.B. für das Überqueren einer Kreuzung)
SSM	Antwort auf SRM
TIM	Traveler Information Message Hinweise für Fahrer und Fahrzeug (z.B. Verkehrszeichen)

2.3 Steuerverfahren

In diesem Kapitel werden verschiedene Ansätze betrachtet, die aktuell zur Koordinierung von Knotenpunkten eingesetzt bzw. entwickelt werden. Darunter ist die Festzeitsteuerung, die bei einem großen Teil der LSAs eingesetzt wird. Anschließend werden bei den adaptiven Verfahren die Zeitlückensteuerung und die Verlustzeitsteuerung erläutert. Darauffolgend werden die Vitalverfahren mit den Verfahren GLOSA und AGLOSA erklärt.

2.3.1 Festzeitsteuerung

„Die einfachste Art der LSA-Steuerung ist die Festzeitsteuerung. Die Signalprogramme laufen hier mit gleichbleibenden Umlauf-, Freigabe-/Grün- und Sperr-/Rotzeiten ab. Die Umlaufzeit ist dabei die Zeit, in der alle „Richtungen“ in der Regel einmal „Grün“ und einmal „Rot“ bekommen, bis das Signalprogramm durchgelaufen ist und wieder von vorne beginnt. Sie beträgt in der Regel 60 bis 120 Sekunden. Die Festzeitsteuerung kann tageszeitlich variieren, beispielsweise bei ausgeprägtem Berufsverkehr am Morgen „optimiert“ in Richtung stadteinwärts und am Nachmittag/Abend in Richtung stadtauswärts.“ [26]

2.3.2 Adaptive Steuerungen

Bei stark belasteten Kreuzungen oder Knotenpunkten stößt die Leistungsfähigkeit der Festzeitsteuerungen jedoch an ihre Grenzen. Hier kommen dynamische, verkehrsabhängige LSA-Steuerungen zum Einsatz. Diese variieren die Freigabe- und Sperrzeiten für die einzelnen Richtungen entsprechend dem aktuellen Verkehrsaufkommen. [26]

2.3.2.1 Zeitlückensteuerung

Derzeit sind etwa 50% der LSAs in Deutschland mit einer Zeitlückensteuerung versorgt. Dabei werden die Zeitlücken über einen Detektor in der Knotenpunktzufahrt gemessen. Die zeitlichen Nettoabstände aufeinander folgender Fahrzeuge eines Fahrzeugstroms sind dafür ausschlaggebend. Die Freigabezeit wird solange verlängert, bis der zeitliche Abstand zwischen zwei Fahrzeugen mindestens so groß ist, wie ein vorgegebener Zeitlückenwert (ZL) oder bis die längste festgelegte Freigabezeit oder der späteste Verlängerungszeitpunkt im Umlauf erreicht wird. Dabei werden in der Steuerung nur diejenigen Zeitlücken verwendet, die nach Ablauf der minimalen Freigabezeit oder nach dem frühesten Zeitpunkt des Freigabezeitendes (T1) mindestens so groß sind wie der Zeitlückenwert ZL. Der Beginn der zum Freigabezeitabbruch führenden Zeitlücken kann jedoch bereits während der minimalen Freigabezeit oder vor dem Zeitpunkt T1 erfolgt sein. Als Zeitlücken ZL für den Abbruch der Freigabezeit kön-

nen Beträge zwischen 2s und 5s vorgegeben werden. Bei stark belasteten Knotenpunkten sollte dieser Wert zwischen 2s und 3s liegen. Die Entfernung des Detektors [Abb. 11] von der Haltlinie ist abhängig von dem gewählten Zeitlückenwert, der Gelbzeitdauer und der Zugrunde gelegten Fahrgeschwindigkeit V. [27]

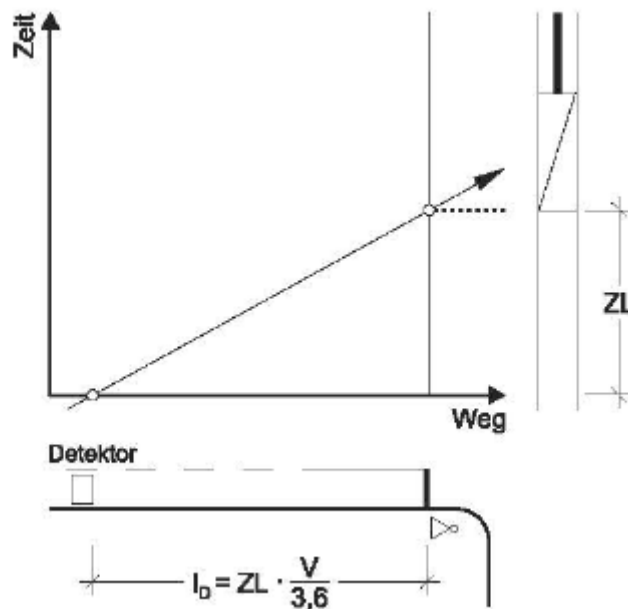


Abbildung 11 - Lage eines Detektors [27]

„Die Zeitlückensteuerung ist der zurzeit am weitesten verbreitete Ansatz zur verkehrsabhängigen Steuerung von LSA. Die aktuelle Phase wird hier so lange gedehnt, bis eine vorgegebene Nettozeitlücke am Detektor überschritten wird. Dabei ist die Freigabezeit durch eine Mindestfreigabezeit nach unten und eine maximale Freigabezeit nach oben begrenzt. Eine Zeitlücke ist definiert als zeitlicher Abstand, in dem zwei aufeinanderfolgende Fahrzeuge einen Messquerschnitt durchfahren.

Das Ziel der Zeitlückensteuerung ist der vollständige Abbau des vorhandenen Rückstaus und damit auch indirekt der im entsprechenden Zufluss vorhandenen Verlustzeit [28]. Dabei gibt es allerdings eine Unschärfe bei der Erfassung von sich im Rückstau befindlichen Fahrzeugen, wie Abbildung 12 zeigt. Links in Abbildung ist der Idealfall der Zeitlückensteuerung dargestellt. Es werden genau jene Fahrzeuge abgebaut, die während der Sperrzeit den Knotenpunkt bzw. den Rückstau erreichen (n1, n2, n3), sowie jene, die zwar während der Freigabe den Rückstau erreichen, jedoch durch den noch nicht abgebauten Rückstau nicht ungehindert passieren können (n4).

Im Gegensatz dazu ist rechts in Abbildung ein Fall dargestellt, in dem die Unschärfe des Zeitlückenkriteriums zum Tragen kommt. Nach dem verlustzeitbehafteten Fahrzeug n_4 erreichen zwei weitere Fahrzeuge n_5 und n_6 innerhalb der Grenzzeitlücke h_{\min} den Knotenpunkt, die allerdings nicht verlustzeitbehaftet sind. Nichtsdestotrotz wird die Phase über den Zeitpunkt des vollständigen Abbaus der Verlustzeit t_{d0} hinaus gedehnt. Das Zeitlückenkriterium kann hier schlicht nicht unterscheiden, ob die Fahrzeuge n_5 und n_6 noch zum Rückstau gehören oder nicht. Diese Unschärfe versucht die verlustzeitbasierte Steuerung zu eliminieren.“ [29]

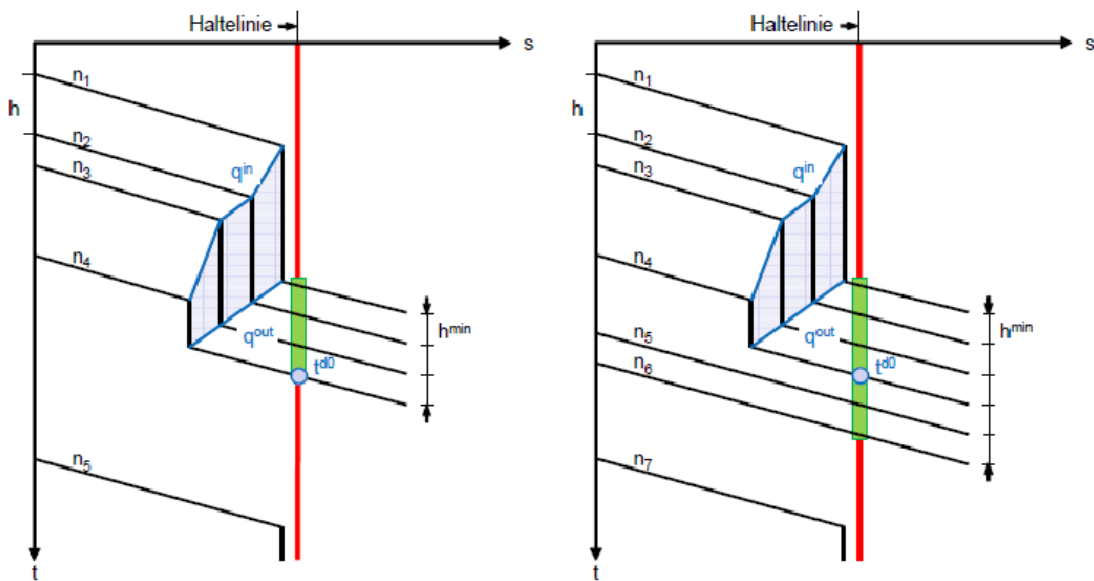


Abbildung 12 - Zeitlückensteuerung in zwei Verkehrssituationen [29]

2.3.2.2 Verlustzeitbasierte Steuerung

„Dieses Verfahren verfolgt die prinzipielle Idee die Verlustzeiten herannahender Fahrzeuge für die Anpassung der Freigabezeiten an einem Knotenpunkt zu nutzen. Die Verlustzeit eines Fahrzeugs ist dabei dessen zeitlicher Mehraufwand zum Passieren des Knotenpunktes gegenüber einer behinderungsfreien Durchfahrt. Das heißt, sobald ein Fahrzeug in einer Zufahrt verzögern muss und sich unterhalb einer definierten Grenzgeschwindigkeit bewegt, was beispielsweise die zulässige Höchstgeschwindigkeit sein kann, sammelt es automatisch Verlustzeit an. Dies wird in der Regel durch die LSA selbst oder durch die Verkehrslage bedingt und führt zu entsprechenden Verzögerungs-, Warte- und Beschleunigungsvorgängen, die sich in der angesammelten Verlustzeit eines Fahrzeugs widerspiegeln. [Abb. 13]

Vom Prinzip her greift die Steuerung diese Information nun als Eingangsgröße auf und verlängert eine laufende Freigabephase unter Beachtung einer minimal und maximal zulässigen Phasendauer solange, bis alle Fahrzeuge mit angesammelter Verlustzeit in der zugehörigen Zufahrt bzw. Phase abgeflossen sind. Dann erfolgen ein Phasenwechsel und das Prinzip läuft in der nächsten Zufahrt bzw. Phase eines Umlaufs ab.“ [30]

Die Grundidee der verlustzeitbasierten Steuerung ist, das Eliminieren der Unschärfe in der Erfassung des Rückstaus bei der Zeitlückensteuerung sowie die Nutzung der Verlustzeit an sich, nicht nur als Bewertungsgröße, sondern auch als Steuergröße [30].

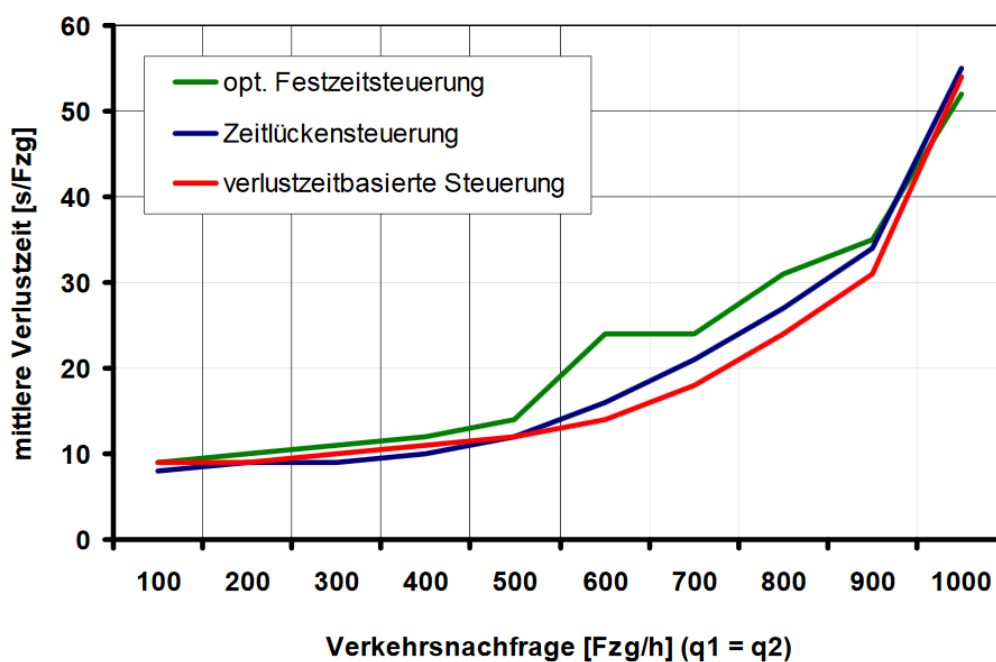


Abbildung 13 - mittlere Verlustzeiten der Verfahren [30]

2.3.3 VITAL – Verkehrsabhängig Intelligente Steuerung von Lichtsignalanlagen

Auf Basis neu aufkommender Kommunikations- und Detektionstechnik wurden am DLR neue LSA-Steuerverfahren entwickelt. Die kooperative Steuerung (AGLOSA), welche den Verkehrsablauf am Knotenpunkt mithilfe fahrzeugspezifischer Geschwindigkeitsempfehlungen optimiert. Dieses Verfahren wurde, sowie die verlustzeitbasierte Steuerung im Rahmen des Projekts VITAL an isolierten Knotenpunkten evaluiert, sowohl in Simulationen als auch im Feld. Im nächsten Schritt sollen die Verfahren zur Netzsteuerung genutzt werden, wofür diese Arbeit den Grundstein legt. Dazu soll im Rahmen von Simulationen evaluiert werden, inwiefern die beiden VITAL-Verfahren für Koordinierungen geeignet sind und wie man sie im Hinblick auf ihre Koordinierungsfähigkeit weiterentwickeln kann. Zusätzlich werden Referenzverfahren betrachtet. Die kooperative Steuerung (AGLOSA) wird um einen Koordinierungsfaktor erweitert, der die koordinierten Ströme während der Optimierung höher gewichtet als die Nebenrichtungen. Das Verfahren erzielt mit und ohne Koordinierungsfaktor durchweg sehr gute Ergebnisse, was zu einem Teil auf die Nutzung der Geschwindigkeitsempfehlungen zurückzuführen ist. Die verlustzeitbasierte Steuerung hat im Prinzip eine unzureichende Koordinierungsfähigkeit, welche durch die Änderung des Fokus von der Verlustzeit in der aktuellen Phase auf die prognostizierte Gesamtverlustzeit im nächsten Umlauf signifikant verbessert werden kann. Die entwickelten Ansätze sind damit als sehr vielversprechend einzustufen, da sie sich flexibel an die äußeren Randbedingungen anpassen und so die Leistungsfähigkeit des Netzes erhöhen können.

„Die wesentliche Neuerung dieses Verfahrens liegt in den zur Steuerung verwendeten Verkehrskenngrößen und die für deren Erfassung eingesetzten Infrastruktur. Mit Größen wie der Verlustzeit werden LSA bisher noch nicht gesteuert und auch die Fahrzeuge selbst, mit ihren eingebauten Erfassungs- und Kommunikationsmöglichkeiten, dienen bisher noch nicht als Sensor für die LSA-Steuerung. Die Besonderheit ist, dass dafür auch die bereits vorhandene Infrastruktur weiterverwendet werden kann. Dies spart Infrastrukturkosten und ermöglicht eine kurzfristige Markteinführung.“ [33]

Aus dem VITAL-Verfahren lassen sich sofort und unmittelbar die wesentlichen Vorteile herausfinden. Das Verfahren löst damit aktuelle verkehrs- und klimapolitische Probleme, wie die Reduzierung der Warte- und Reisezeiten für die Verkehrsteilnehmer. Außerdem wird eine erhöhte Schadstoffemission vermieden, was derzeit im Sinne des Klimaschutzes ist. Als weiterer Anreiz wird die Reduzierung der Finanzierungsaufwände für die Infrastruktur durch die Kommunen als Vorteil aufgeführt.

2.3.3.1 GLOSA

Das GLOSA (Green Light Optimal Speed Advisory) Verfahren bietet Autofahrern eine Geschwindigkeitsempfehlung an, die es ihnen erlaubt, Ampeln während einer grünen Phase zu passieren. In einem Ein-Segment-GLOSA werden Verkehrszeichen unabhängig betrachtet, d.h. das System stellt Fahrzeugen die optimale Geschwindigkeit für das Segment bereit, um eine Grün Phase zu ermöglichen. Auf diese Weise sollen Halte und große Beschleunigungen vermieden werden, wovon man sich positive Auswirkungen auf den Verkehrsfluss und den Kraftstoffverbrauch verspricht.

In einem Multi-Segment GLOSA werden mehrere Signale in einer Sequenz auf der Route eines Fahrzeugs berücksichtigt, d.h. Fahrzeuge empfangen Geschwindigkeitsempfehlungen für eine Reihe von Segmenten vor dem Fahrzeug [Abb. 14 & 15]. [31]

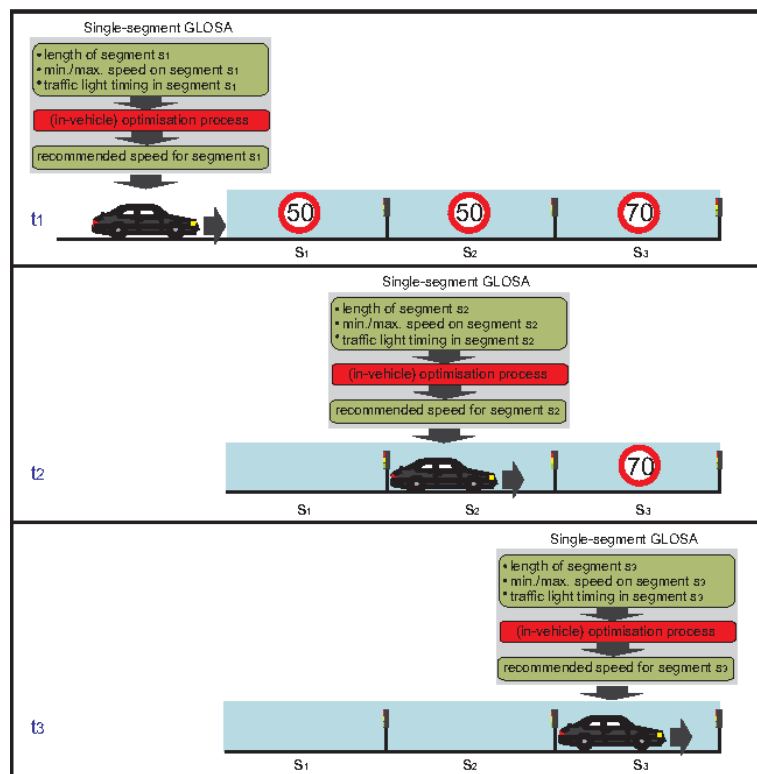


Abbildung 14 - GLOSA Verfahren [31]

Dabei werden die Reisezeit und die Kraftstoffeffizienz also Faktoren für eine Wirtschaftlichkeit verwendet. [31]

Performance im Vergleich zu einem Single-Segment-Ansatz. Die Ampel ist mit einer straßenseitigen Einheit (RSU) verbunden. [32] Über diese Verbindung kann die Ampel Informationen an Fahrzeuge in der Nähe senden. Dies beinhaltet Informationen über die Topologie der

Kreuzung und den Phasenplan jedes Ampelsignals. Anfahrende Fahrzeuge können diese Informationen erhalten und berechnen so die optimale Annäherungsgeschwindigkeit. Bei optimaler Annäherungsgeschwindigkeit wird die Energieeffizienz verbessert und Stopps können sogar vollständig vermieden werden. Das Fahrzeug nähert sich der Ampel, die gerade rot ist. Basierend auf dem empfangenen Ampelphasenplan berechnet das Fahrzeug eine Annäherungsgeschwindigkeit von 45km/h, bei der das Fahrzeug zu Beginn der nächsten Grünphase die Ampel erreichen würde. Diese Information wird dem Fahrer präsentiert, der den unnötigen Stopp vermeiden kann. [31]

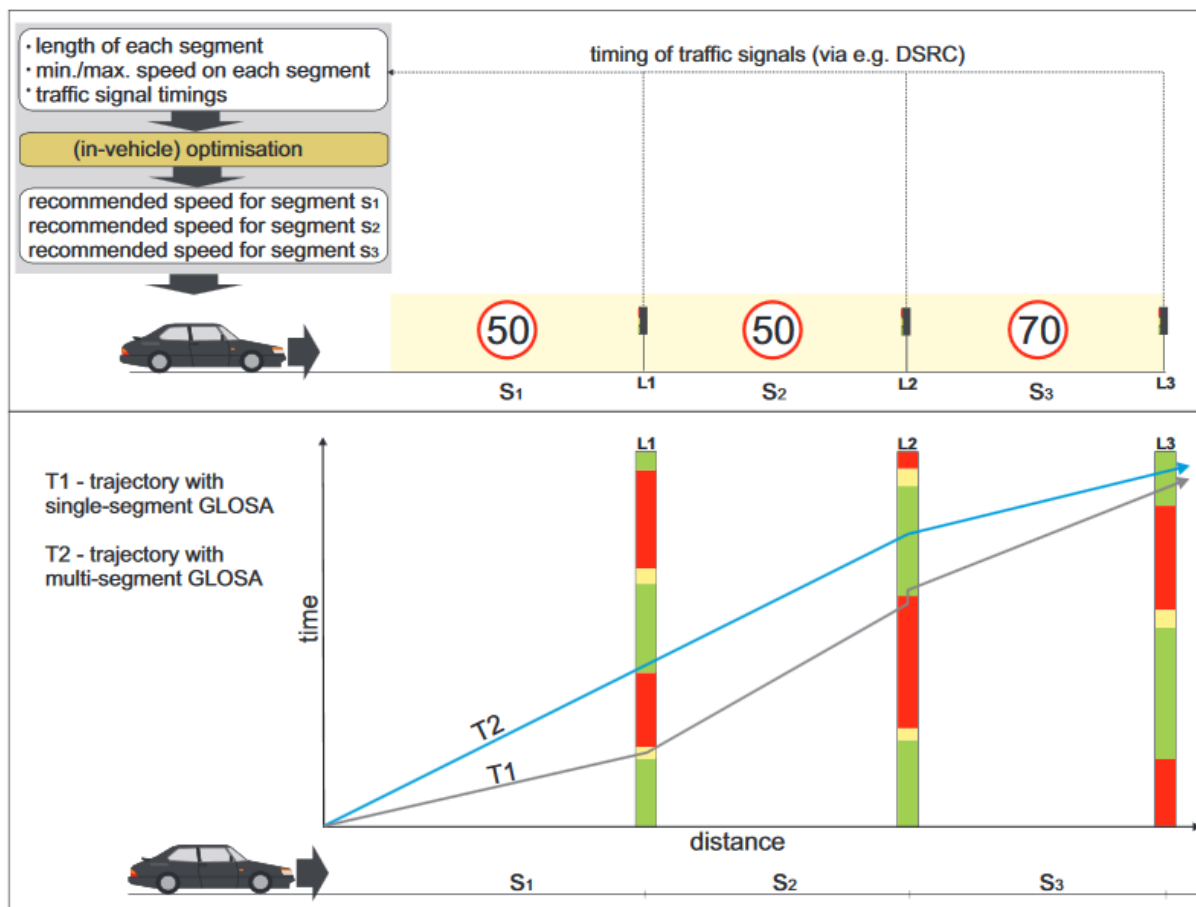


Abbildung 15 - Multisegment GLOSA [31]

2.3.3.2 AGLOSA

Agent-Based Green Light Optimal Speed Advisory [1] ist ein Verfahren zur optimierten, kooperativen Steuerung sowohl des Verhaltens der Fahrzeuge an signalisierten Knotenpunkten als auch der LSA. Es ist eine adaptive LSA-Steuerung, die mithilfe von Anpassung der Geschwindigkeit der Fahrzeuge die LSA bei 'Grün' erreichen. Somit entstehen ein flüssiger Verkehrsfluss und keine Wartezeiten an roten Lichtsignalanlagen.

Derzeit sind etwa 50 Prozent aller Lichtsignalanlagen mit einer Zeitlückensteuerung ausgestattet. Ein sehr großer Teil ist mit einer Festzeitsteuerung geschaltet. Dazu kommt noch ein gewisser Prozentsatz, der mithilfe der Verlustzeitsteuerung [1], entwickelt von Robert Oertel, geschaltet ist. Um dies zu erreichen, muss eine Kommunikation zwischen der LSA und den Fahrzeugen, die die LSA passieren wollen, erfolgen. Es werden dadurch Fahrzeughalte verhindert und so der Verkehr verflüssigt [Abb. 16]. [33]

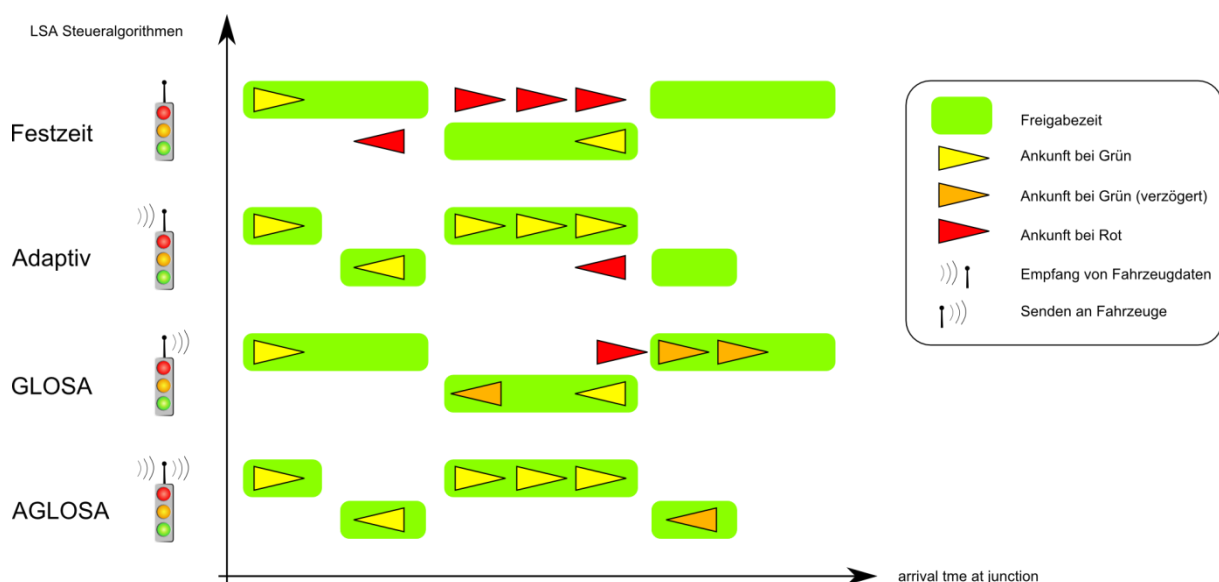


Abbildung 16 - Kombination von Adaptiver LSA-Steuerung und GLOSA (AGLOSA) [1]

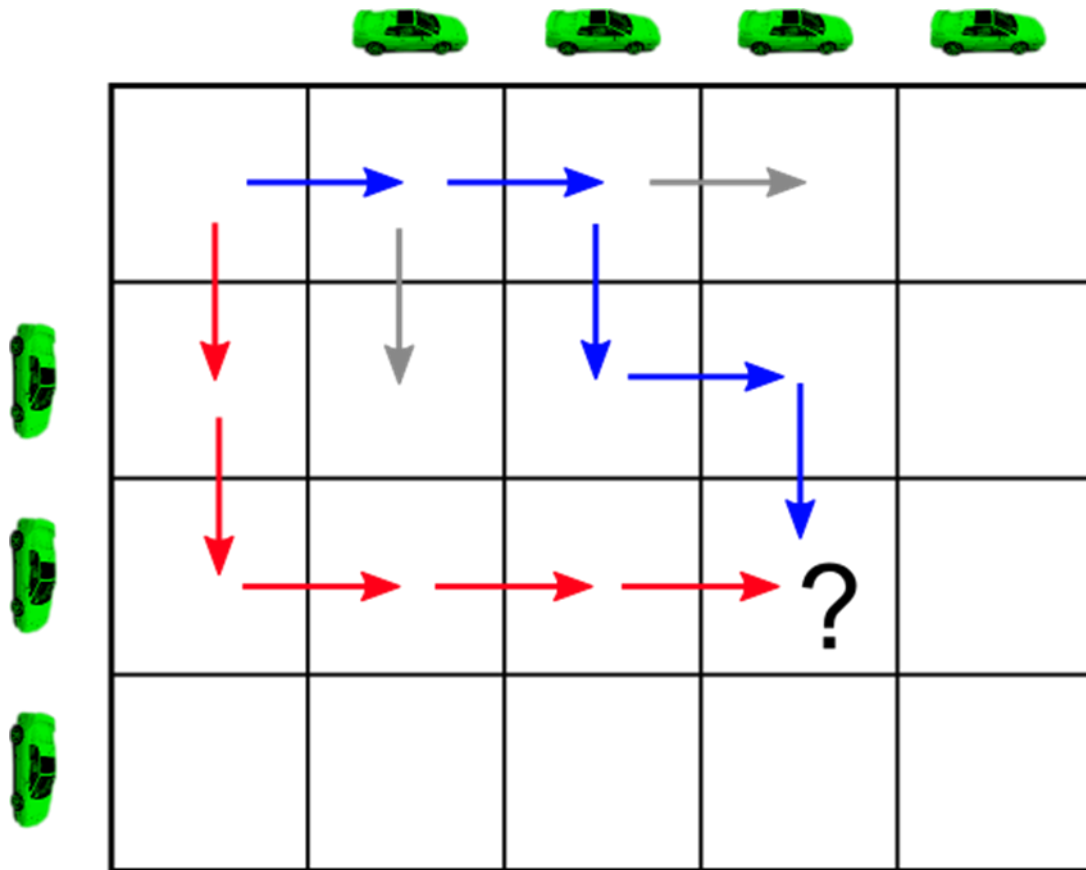


Abbildung 17 - Kontrollschleife [1]

Kontrollschleife - Ablauf beispielsweise im Sekundentakt:

Jedes Fahrzeug sendet seine ID, Position und Geschwindigkeit an die LSA. Diese berechnet den optimalen Phasenplan und sendet jedem Fahrzeug einen Zielzeitpunkt [Abb. 17]. Das Fahrzeug passt dann die Geschwindigkeit so an, um die Kreuzung zum Zielzeitpunkt erreichen zu können. [1]

2.4 Stand der Technik

Der aktuelle Stand der Technik zu Systemen, die Roboter mit in die Verkehrsbetrachtung mit einbezieht, ergibt derzeit keine Treffer. Es gibt keine passable Lösung für dieses Problem. Es gibt nur halbautomatisierte Lösungen. Für dieses spezielle Problem, dem Überqueren von Kreuzungen mit mobilen Robotern, wurde keine Lösung gefunden, in der Literatur- und Patentrecherche wird darauf näher eingegangen.

Bei der halbautomatisierten Lösung bleibt der Roboter vor dem Signalgeber der Kreuzung stehen und ein Techniker schaltet sich auf den Roboter auf. Sobald dann dort an der Kreuzung eine Grün-Phase anliegt, wird der Roboter wieder frei gegeben. Dieses System funktioniert gut und ist auch sicher, wird aber auf Dauer und für die Zukunft voraussichtlich sehr kosten- und personalintensiv werden.

Die Forschung und Entwicklung zum Thema C2X-Kommunikation finden bereits seit mehr als 10 Jahren statt. Besonders die Industrieländer dominieren diesen Bereich. Zahlreiche Projekte wurden bereits durchgeführt oder befinden sich gegenwärtig in der Entwicklungsphase.

2.4.1 Ergebnisse der Patentrecherche

Am Anfang wurde eine Patentrecherche durchgeführt. Dabei wurden zwei Datenbanken durchsucht. Einmal die Einträge des Deutschen Patent- und Markenamtes [42]. Zudem noch die des Espacenet – dem Europäischen Patentamt [43]. Bei beiden Datenbanken wurde jeweils mit ähnlichen Suchbegriffen gesucht, welche auf Deutsch und Englisch probiert wurden. Dazu gehörten: Roboter, Licht Signal Anlage, Ampel, Kreuzung sowie System.

Auf den Seiten wurde mit den Wörtern von oben in verschiedenen Kombinationen, sowie in Deutsch und in Englisch gesucht. Das Ergebnis war ernüchternd. Es wurden zwar zu den einzelnen Suchbegriffen viele Einträge gefunden, aber in Kombination dieser gab es keine Treffer.

Im Zusammenhang mit AGLOSA, sowie der Verlustzeitbasierter Steuerung und Vital wurden einige Patente im Deutschen Patent- und Markenamt gefunden:

- Jakob Erdmann - Verfahren und Vorrichtung zur dynamischen Steuerung mindestens einer Lichtsignalanlage [Aktenzeichen 10 2012 214 164.2]
- Robert Oertel/ Dr. Peter Wagner - Verfahren und Vorrichtung zur dynamischen Steuerung einer Signalanlage [Aktenzeichen 10 2010 027 327.9]

- Thorsten Neumann/ Robert Oertel - Verfahren und Vorrichtung zur Steuerung von Verkehrsströmen an Knotenpunkten [Aktenzeichen 10 2014 206 937.8]

2.4.2 Ergebnisse der Literaturrecherche

Am Anfang der Arbeit wurde eine Literaturrecherche durchgeführt. Es wurde zum einen das Web nach wissenschaftlichen Arbeiten sowie die Datenbanken einiger Wissenschaftlicher Betriebe durchsucht. Darunter zählt die DLR ELIB - *elib.dlr.de*, als Datenbank des DLR. [34]

Viel von der gefunden Literatur, wird im Literaturverzeichnis aufgeführt. Zusätzlich dazu konnte auf das Standardregelwerk, RiLSA - Richtlinien für Lichtsignalanlagen - Lichtzeichenanlagen für den Straßenverkehr [28] zurückgegriffen werden.

2.4.3 Ergebnisse der Recherche zu Forschungsprojekten

Im nächsten Abschnitt werden Forschungseinrichtungen ausfindig gemacht, die sich mit dem Themengebieten um C2X , sowie kooperative Steuerverfahren und die Vernetzung im Verkehr beschäftigen, dort fielen vor allem die TU Braunschweig, TU München und TU Dresden auf, die sich sehr aktiv in Forschungsprojekte einbringen und somit viel Erfahrung im C2X Segment aufweisen. Die folgenden Forschungsprojekte beschäftigen sich sehr intensiv mit neuartigen Verkehrssteuerungen, sowie weiterentwickelte Sensoren, die noch zuverlässiger sind. Diese Projekte werden zum Teil von den Universitäten unterstützt.

2.4.3.1 UR:BAN

Urbaner Raum: Benutzergerechte Assistenzsysteme und Netzmanagement

Das Verbundprojekt UR:BAN setzt sich aus 31 Partnern aus der Automobil- und Zulieferindustrie, Elektronik-, Kommunikations- und Softwarefirmen, Städten, Universitäten sowie Forschungsinstitute zusammen. Das Projekt besteht aus den drei Bereichen:

- Vernetztes Verkehrssystem
- kognitive Assistenz
- Mensch im Verkehr

Ziel von UR:BAN ist es, durch den Ausbau von intelligenter Infrastruktur und deren Vernetzung mit intelligenten Fahrzeugen den Verkehr zu optimieren. Sowie um die verkehrssicherheitsrelevanten Herausforderungen in einer komplexeren Umgebung mit engeren und unüber-

sichtlicheren Räumen sowie schwächeren Verkehrsteilnehmern, hier Fußgängern und Fahrradfahrern, zu begegnen. [35]

2.4.3.2 simTD

Sichere Intelligente Mobilität Testfeld Deutschland

Das Forschungsprojekt simTD gestaltet durch die Erforschung und Erprobung der Car-to-X-Kommunikation und ihrer Anwendungen die sichere und intelligente Mobilität von morgen. Das Projekt simTD bringt die Ergebnisse vorausgegangener Forschungsprojekte zur Anwendung. Dazu werden realitätsnahe Verkehrsszenarien in einer großflächigen Testfeld-Infrastruktur rund um die hessische Metropole Frankfurt adressiert und die politischen, wirtschaftlichen und technologischen Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Einführung der Fahrzeug-zu-Fahrzeug- und Fahrzeug-zu-Infrastruktur-Vernetzung vorbereitet. [36]

2.4.3.3 DRIVE C2X

Drive C2X ist ein Verbundprojekt von 34 Partnern und soll die Grundlage schaffen für Roll-out kooperative Systeme in Europa. Aufbauend auf den Ergebnissen des Vorgängers PRE-DRIVE C2X, bei der eine Reihe von potentiell nützlichen Funktionen entwickelt wurde, werden nun weitere Untersuchungen in verschiedenen Ländern durchgeführt, um weitere sicherheitsrelevante Funktionen zu erforschen. Für die Tests wurden die Funktionen in drei verschiedene Kategorien unterteilt:

- Sicherheitsrelevante Funktionen
- Funktionen für die Verkehrseffizienz
- Ausgewählte Infotainment-, Geschäfts- und Bereitstellungsfunktionen [37]

2.4.3.4 KOLINE

Kooperative und optimierte Lichtsignalsteuerung in städtischen Netzen

Notwendige Halte an Lichtsignalanlagen und die damit verbundenen Brems- und Beschleunigungsvorgänge beeinflussen wesentlich die Emissionen des städtischen Kfz-Verkehrs. Weniger Halte bedeuten daher neben einem gleichmäßigeren Verkehrsfluss und weniger Wartezeitverlusten auch geringere negative Auswirkungen auf die Umwelt. Ziel des Projekts KOLINE ist es, eine solche verbesserte Koordinierung der Steuerung zu erreichen. Durch die hiermit verbundene Verringerung von Fahrzeughalten an Lichtsignalanlagen und den daraus resultierenden Brems- und Beschleunigungsvorgängen können Energieverbrauch und Emissi-

onen reduziert und ein gleichmäßiger Verkehrsfluss erzeugt werden. Auf diese Art erhöhen sich Leistungsfähigkeit und Komfort für den Benutzer. Gleichzeitig werden Emissionen insgesamt und die Immissionen im Nahbereich signifikant reduziert.

Innovativer Ansatz von KOLINE ist die erstmals realisierte kooperative d.h. gegenseitige Optimierung von Lichtsignalsteuerung und Fahrverlauf der Fahrzeuge. Erreicht wird dies durch eine geeignete Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur, der sogenannten Car-2-Infrastructure (C2I) -Kommunikation. Von einem Austausch aktueller Daten profitieren beide Seiten. So dienen bessere Informationen zum Verkehrszustand einer verlässlicheren Prognose der Verkehrssituation und damit einer besser angepassten Verkehrssteuerung. Die Kenntnis von Daten der Lichtsignalanlage im Fahrzeug ermöglicht die Entwicklung von Assistenzsystemen zur Optimierung der Längsführung im Kreuzungsbereich. [38]

2.4.3.5 VITAL

„Die Verlustzeiten und Ankunftszeitpunkte von Verkehrsteilnehmern an Kreuzungen sind die Kenngrößen für die VITAL-Steuerungsverfahren – kurz: niemand soll viel Zeit mit Warten an einer roten Ampel verbringen. Der Verkehr soll fließen und möglichst wenig Schadstoffausstoß erzeugen. Ein wichtiges Element zur Beeinflussung des Verkehrs sind Lichtsignalanlagen (LSA) – umgangssprachlich Ampeln genannt. Lichtsignalanlagen koordinieren insbesondere an Kreuzungen mit mehreren Fahrspuren sehr komplexe Abläufe mit vielen Lichtsignalen. Zur Reduzierung der Warte- und Reisezeiten hat das DLR mit den VITAL-Verfahren zwei intelligente LSA-Steuerungsverfahren entwickelt.

Das Innovative an den VITAL-Verfahren ist die Nutzung der Verlustzeiten und Ankunftszeitpunkte als Kenngrößen für die Verkehrssteuerung. Bisherige Verfahren werden meist über feste Zeiten oder beim Überfahren von Detektionspunkten gesteuert. Um die Verlustzeiten und Ankunftszeitpunkte der Verkehrsteilnehmer zu ermitteln, wird die Verkehrslage mithilfe der Fahrzeuge selbst erfasst, die mit ihren eingebauten Erfassungs- und Kommunikationstechnologien Informationen z.B. über Position, Richtung und Geschwindigkeit übermitteln können. Alternativ kann hierfür auch bereits vorhandene Infrastruktur weiterverwendet werden, was den Kommunen Infrastrukturkosten spart und eine kurzfristige Markteinführung ermöglicht. [30]

Das Projekt VITAL wird gefördert aus dem Validierungsfonds der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren zur Validierung von Forschungsergebnissen hin zu marktfähigen Anwendungen.

Die Forschungsprojekte sind schon sehr weit fortgeschritten und zum Teil auch schon im praktischen Einsatz. Aber sie sind doch mittlerweile sehr speziell auf die Bedürfnisse der Forschungsgruppen und auch zum Teil auf Städte zugeschnitten. Somit sind die oben genannten fünf Projekte nur als Anregung nutzbar.“ [39]

2.4.4 Ergebnisse zur Recherche zu Robotersystemen

Roboter sind Maschinen, die verschiedene Tätigkeiten erledigen können. Sie bewegen sich selbstständig, was sie von ferngesteuerten Maschinen unterscheidet. Diese benötigen Befehle von Menschen – und sind somit nicht selbstständig. Auch Automaten sind keine Roboter, da sie nur eine einzige Arbeit ausführen. Auch Computer gelten nicht als Roboter, weil sie sich nicht bewegen können.

Ein auf dem Boden bewegliches Fahrzeug besitzt normalerweise drei Freiheitsgrade:

- x-Achse
- y-Achse
- z-Achse

Bei Robotersystemen für Anwendungen im Weltraum oder Unterwasser kann das Fahrzeug bis zu sechs Freiheitsgrade besitzen. Die Fortbewegung kann mit Hilfe von Rädern, Ketten oder Beinen erfolgen. Roboter mit Rädern haben eine einfache Mechanik und lassen sich leicht zusammenbauen. Der prinzipielle Nachteil von Rädern ist, dass sie auf unebenem Grund nicht so leistungsfähig sind wie auf ebenem Boden. Systeme mit Beinen oder Ketten benötigen in der Regel eine komplexere und schwerere Hardware als Systeme mit Rädern, die für dieselbe Nutzlast ausgelegt sind. Bei Robotern, die in einer natürlichen Umgebung operieren sollen, sind Ketten allerdings geeigneter, da die größere Lauffläche den Roboter in die Lage versetzt, relativ große Hindernisse zu überwinden. Außerdem sind Kettenfahrzeuge weniger anfällig für Unebenheiten, z.B. lose Erde oder Steine. Der größte Nachteil von Ketten ist jedoch ihr geringer Wirkungsgrad. Gehende Roboter können in der Regel unebenes Gelände besser überwinden als Fahrzeuge mit Rädern oder Ketten. Allerdings gibt es viele Schwierigkeiten. Jedes Bein muss mit mindestens zwei Motoren ausgestattet sein. Außerdem ist der Fortbewegungsmechanismus komplexer und folglich fehleranfälliger. Darüber hinaus sind mehr Steueralgorithmen erforderlich, weil mehr Bewegungen zu koordinieren sind. Eine optimale Steuerung von gehenden oder laufenden Maschinen gibt es derzeit noch nicht. [40]

Am Anfang stand die Recherche zu geeigneten Robotersystemen. Dabei wurden mehrere Ansätze verfolgt. Einer war die Datenbank des DLR zu durchsuchen, welche intern entwickelten Systeme es bereits gibt oder derzeit entwickelt werden. Dort fielen vor allem Roboterarme auf. Als weiteres wurden viele leichte kleine Roboter für den Weltraumeinsatz gefunden.

2.4.4.1 Postbot

Dieser wurde von Effidience S.A.S entwickelt und hilft Postboten dabei, Pakete und Briefe zu tragen. [41] Das etwa 1,50 Meter hohe Gefährt, hier Abbildung 18 - Postbot, kann lediglich einer Person in Schrittgeschwindigkeit folgen und etwa 150 Kilogramm Post transportieren. Für die Anforderungen in diesem Projekt aber eher nicht das Gewünschte.



Abbildung 18 - Postbot [42]

2.4.4.2 Lightweight Rover Unit (LRU)

Der Lightweight Rover Unit (LRU) ist der Prototyp eines mobilen Roboters des DLRs zur Exploration in unbekannten, unwegsamen und zudem schwer zugänglichen Gelände. [Abbildung 19] Die Forschungsarbeiten dienen als Vorbereitung für zukünftige planetare Explorationsmissionen und terrestrische Katastropheneinsätze. Im Jahr 2014 wurde der LRU erstmals der Öffentlichkeit präsentiert. Er kann eine Nutzlast von etwa 5kg bewegen. Die Energieversorgung wird dabei von zwei Akku-Packs mit einer Betriebsdauer von etwa 60 Minuten je Akku-Pack, also etwa zwei Stunden beschrieben. Mit seinem Eigengewicht von etwa 30kg und der Nutzlast kann Geschwindigkeiten von bis zu 1,1m/s bzw. 4km/h erreichen.



Abbildung 19 - Lightweight Rover Unit (LRU) [43]

2.4.4.3 Gita

Es wurde nach einer weiteren Lösung weitergesucht. Als nächste gute Lösung wurde der Gita von der Firma Piaggio gewählt. Dieser ist 66cm im Durchmesser und kann bis zu 18kg Ladung transportieren. Eine Route lernt der Roboter dadurch kennen, indem er einer Person folgt. Hierbei werden in einem Gürtel, an dem eine Stereokamera befestigt ist, die Bilder an den Gita übertragen. Der Roboter vergleicht die Bilder seiner Kamera mit denen der Gürtelkamera. So orientiert er sich und findet seinen Weg. Die Geschwindigkeit ist mit etwa 35km/h vom Hersteller angegeben, was den Gita schnell genug macht, damit er auch Radfahrer folgen könnte. [Abbildung 20] Dieser ist aber derzeit noch nicht erhältlich. [44]



Abbildung 20 - Roboter von Piaggio – Gita [44]

2.4.4.4 Starship

Nachdem auch der Gita nicht benutzt werden kann, wurde das Unternehmen Starship aus Tallin angeschrieben. Der Starship Roboter [Abbildung 21] ist etwa 6km/h schnell, bei einem Gewicht von 12kg und einer Nutzlast von etwa 10kg. Es sind fünf Frontkameras sowie zwei Heckkameras verbaut, die zu acht Ultraschallsensoren, wie man sie von Einparksensoren vom Auto her kennt. Verbaut sind zwei Simkarten für den Mobilfunk, sowie ein Wlan. Der Lieferradius beträgt derzeit etwa einen bis zwei Kilometer. Die vom Roboter aufgenommenen Kamerabilder werden an einen Operator nach Tallinn übertragen. [45]

Jeder dieser Operator kann bis zu 99 Roboter überwachen bzw. freigeben, wenn diese an einer roten Ampel und auf ihrer Freigabe warten. Die Roboter erstellen eigene Karten auf Basis vom Kartendienst Google Maps, dafür müssen die Roboter die Strecke, welche sie autonom abfahren sollen, mindestens einmal abgefahren sein, damit genug Daten für Kartenerstellung vorhanden sind. Dabei werden Ausfahrten und LSA in dem Kartensystem extra hinterlegt. Hier gilt für alle Roboter, dass sie auf eine Freigabe warten müssen. [Hamburg 7.10.2017 Tag der offenen Tür]



Abbildung 21 - Starship Roboter

2.4.4.5 Dr Robot - Jaguar 4x4

Der nächste Roboter ist der Dr. Robot Jaguar 4x4 [Abbildung 22]. Dieser wird als „All-Terrain Autonomous Navigation Robot with GPS“ bezeichnet. Er wurde entworfen für den Innen- und Außenbereich, der eine größere Bodenfreiheit und schnellere Manövrierbarkeit erfordert. Er kann bis zu 15,5cm hohe Hindernisse bewältigen. Dies ist vor allem bei Bordsteinen mehr als hilfreich. Dabei ist er mit Wlan vom Standard 802.11G drahtlos verbunden. Außerdem besitzt er eine GPS Antenne und kann bis 15km/h schnell fahren. Hierbei kann der Roboter aber auch noch maximale Nutzlast von etwa 30kg transportieren. Des Weiteren gibt es für den Roboter ein vollständiges Entwicklungspaket einschließlich SDK, Datenprotokoll und Beispielcodes, unterstützt werden hierbei Microsoft Robotics Studio, Microsoft Visual Studio, NI LabVIEW, MATLAB und Java.



Abbildung 22 - Jaguar 4x4 der Firma Dr. Robot [46]

2.4.4.6 Bert

Als nächsten Roboter wurde der vierbeinige Laufroboter Bert [Abbildung 23] ausfindig gemacht. Dieser ist eine Plattform zur Erforschung des hochdynamischen und effizienten Laufens. Seine intelligent verkoppelten elastischen Beine erlauben sämtliche Gangarten wie Gehen, Traben, Galoppieren oder auch Passgang. Hier ist es von Vorteil, dass er im DLR entwickelt wurde. Leider befindet sich das System noch in der Entwicklung und wird voraussichtlich erst im Jahr 2018 der Öffentlichkeit präsentiert. [47]



Abbildung 23 - vierbeiniger Laufroboter Bert [47]

2.4.4.7 Mir100

Der autonome Transportroboter MiR100 [Abbildung 24] ist ein mobiler Roboter, der speziell für interne Transport- und Logistikaufgaben entwickelt wurde. Dieser hat eine Traglast von bis zu 100kg, sowie einer Zuglast von bis zu 300kg. Diese Lasten kann er bis zu zwölf Stunden oder aber etwa 20km weit bzw. lange mit einer Geschwindigkeit von etwa 6,5km/h bewegen. Dabei wird die Umgebung mit 3D Kameras gefilmt und etliche Ultraschall-Sensoren überwachen den restlichen Bereich. Die Programmierung erfolgt über eine W-Lan Schnittstelle. Einzige Schwachstelle für den Gebrauch außerhalb von Lagerhäusern ist die überwindbare Toleranz für Lücken und Schwellen, diese liegt nur bei 20 mm. [48]



Abbildung 24 - autonome Transportroboter MiR100 [48]

2.4.4.8 Lego Mindstorm EV3

Der Lego Mindstorm EV3 ist ein Roboter aus Lego Technik Bauteilen. [Abbildung 25] Bei LEGO MINDSTORMS handelt es sich weiter um ein Konstruktionsset für den Bau von programmierbaren Robotern, diese Roboter können gehen, greifen, sprechen, fahren, Linien folgen und Farben erkennen. Dies ist möglich mithilfe des programmierbaren EV3-Stein und drei Servomotoren, mit Farb-, Berührungs- und IR-Sensoren. [49] Für die Testumgebung im Labor ist dieser Roboter gut geeignet. Aber für einen Feldversuch im Straßenverkehr ist der Roboter technisch nicht geeignet.

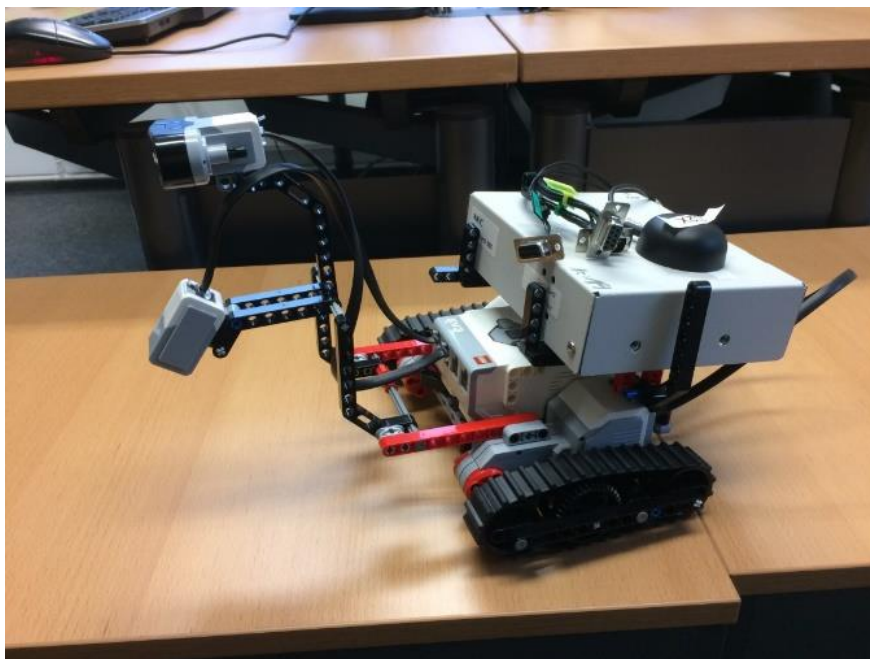


Abbildung 25 - Lego Mindstorm EV3 [49]

3 Usecases

Die in dem Kapitel beschriebenen Use Cases oder auch Anwendungsfälle, sollen die Funktionalität des Systems dokumentieren. Dafür wurde ein einfaches Model benutzt, was auf viele andere Anwendungsfälle im Straßenverkehr angewendet werden kann. Hier soll nun auch überprüft werden, ob das System wie es entwickelt wurde, im Straßenverkehr funktionieren kann.

3.1 Usecase I

Ziele: Test und Demonstration des Nachrichtenaustauschs zwischen Roboter und Ampel/Steuergerät nach standardisierten Protokollen (ETSI und OCIT)

Überprüft werden soll eine Nutzung des Fußgängerweges für die Überquerung und Prüfung, ob Standarderweiterungen notwendig sind.

Details: Der Versuchsaufbau wird so gestaltet, dass der Roboter sich an der Kreuzung anmeldet und dann automatisch über die Kreuzung fährt. Bei diesem Versuch geht es noch nicht darum, die Wartezeit zu verkürzen, sondern nur die Funktionalität zu testen. Dabei geht es um die Kommunikation zwischen Roboter und dem Steuergerät der Kreuzung, mit dem Ziel die Funktionalität für weitere Testfälle zu erweitern.

Experimentaufbau: Steuergerät, zwei Signalmasten, Roboter, C2X-Einheit/angepasste Kommunikationseinheit

Benötigte Daten: Schnittstellen, Kommunikation zwischen Steuergerät und Roboter (Spezifikation erfolgt im nächsten Kapitel)

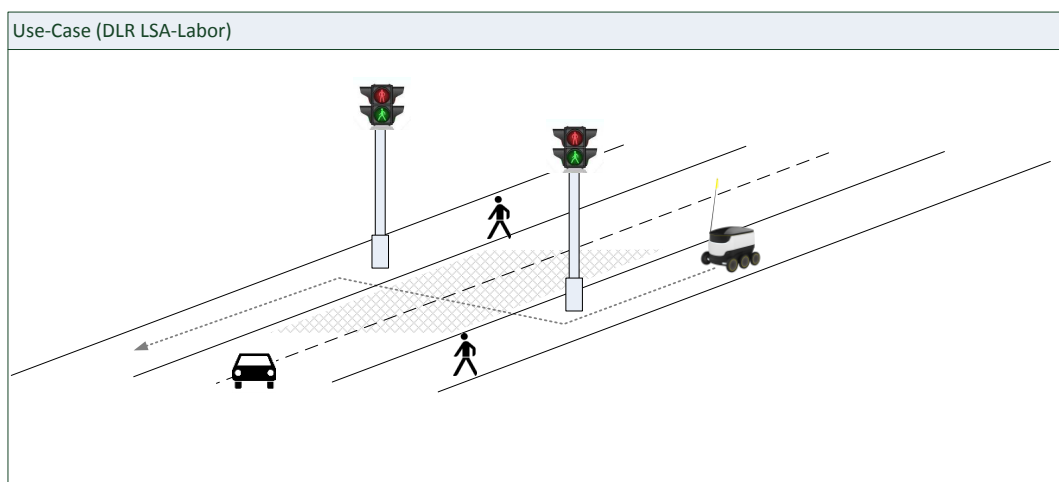


Abbildung 26 - schematischer Aufbau LSA Labor

3.2 Usecase II

Ziel: Verbindung des ersten Ansatzes mit einem kooperativen Steuerverfahren, um die Wartezeit aller Verkehrsteilnehmer an der Kreuzung zu optimieren.

Der Roboter soll mit einem kooperativen Steuerverfahren so verknüpft werden, dass die Koordination der Kreuzung hinsichtlich der Wartezeit für den Roboter optimiert wird.

Details: Dieser Versuchsaufbau erweitert die Testphase I um die Funktionalität eines kooperativen Steuerverfahrens. Der Roboter mit der Kommunikationseinheit (DLR) meldet sich beim Steuergerät an und erhält GLOSA-Informationen für das Passieren der Testkreuzung.

Experimentaufbau: gleich wie Usecase I + Erweiterung Kommunikationskanal und AGLOSA

Benötigte Daten: Schnittstellen, Kommunikation zwischen Steuergerät und Roboter

3.3 Testaufbau im Labor

Der Roboter fährt auf dem Fußgängerweg und muss eine zweispurige Fahrbahn überqueren. Dazu fährt er in Richtung einer Fußgängerüberquerung, die mithilfe von einer Lichtsignalanlage verkehrssicher die Fahrbahn überbrückt. Der Roboter meldet sich am Steuergerät an und bekommt über die C2X Nachrichten, die aktuellen Phasen der LSA zugesendet. [Abbildung 27 und 28]

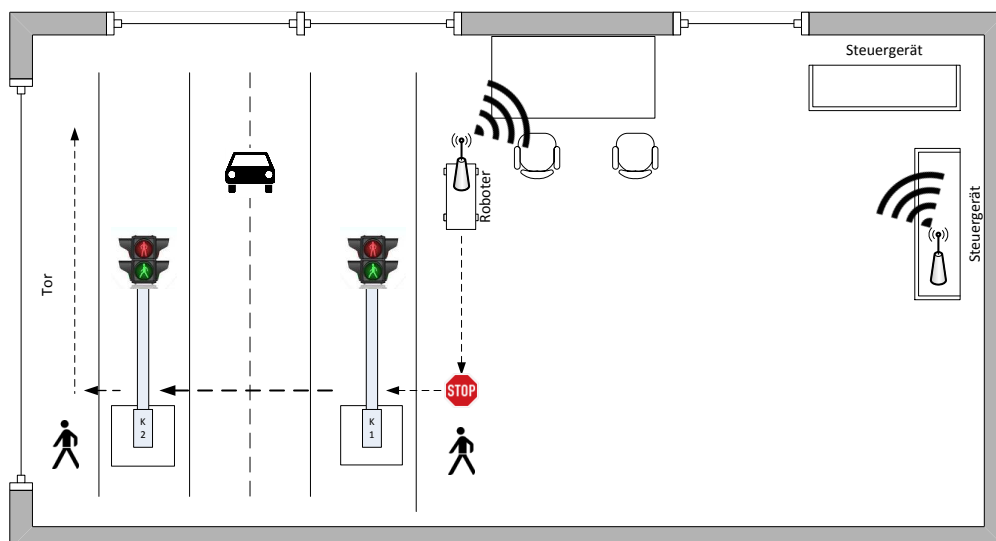


Abbildung 27 - Testaufbau



Abbildung 28 - Überblick über das LSA - Labor [39]

3.4 Aufbau der Verbindung

Benutzt werden die vorgegebenen Meldungen aus dem C2X Bereich im 802.11p Band. Im Speziellen werden dann CAM und SPaT Nachrichten verwendet.

3.5 Ablauf eines Testes

Auf dem Fußboden im Labor werden für den Test einige Markierungen hinzugefügt. Diese bestehen aus schwarzen, etwa 1cm breiten Streifen, die Länge dieser variiert. An diesen Streifen orientiert sich der Roboter beim Fahren im Labor. Der Raspberry Pi sowie die C2X Kommunikationseinheit des Roboters werden über das 230V Labornetz betrieben. Sind aber nicht am Roboter befestigt, damit dieser sich im Labor bewegen kann.

Der Roboter meldet sich dann via Bluetooth am Raspberry Pi an und die Informationskette zum Steuergerät wird ausgeführt. Anschließend sollte der Roboter eine Freigabe bekommen und so sicher über die Kreuzung kommen.

Im Anhang befinden sich Protokolle zu den durchgeführten Usecases.

4 Anforderungen

Die nächsten Schritte der Arbeit befassen sich mit der Aufstellung der Anforderungsanalyse. Anschließend werden die potentiellen Roboter und ein geeigneter Roboter für die Arbeit vorgestellt.

4.1 Anforderungsanalyse

Arten der Anforderung:

F = Funktionale Anforderung, Q = Qualitative Anforderung

Tabelle 2 - Anforderungen

ID	Komponente	Kriterium	Anforderung	Art
A001	Das gesamte System	kann	aus mehreren Robotern bestehen.	F
A002	Das gesamte System	muss	ein stationäres Modul (Steuergerät) besitzen.	F
A003	Das gesamte System	kann	für beliebig viele Anzahl an Robotern skalierbar sein	F
A004	Das gesamte System	muss	in jedem Umfeld frei nutzbar sein.	Q
A005	Das gesamte System	muss	aus einem Roboter bestehen.	F
A006	Der Roboter	muss	über eine Kommunikationseinheit verfügen.	F
A007	Der Roboter	muss	autark für mindestens zwei Stunden sein.	Q
A008	Der Roboter	muss	eine drahtlose Kommunikationseinheit besitzen.	F
A009	Der Roboter	muss	das Kommunikationssystem tragen können. (Gewicht)	F
A010	Der Roboter	muss	das Kommunikationssystem versorgen können. (Energieverbrauch)	F
A011	Der Roboter	muss	eine Pseudonymität gewährleisten.	F
A012	Das Kommunikationsmodul	muss	eine Verbindung zum Roboter aufbauen.	F

A013	Das Kommunikationsmodul	muss	eine Verbindung zum Steuergerät aufbauen.	F
A014	Das Kommunikationsmodul	muss	eine drahtlose Verbindung herstellen können.	F
A015	Das Kommunikationsmodul	muss	ein maximales Gewicht von einem Kilogramm haben.	Q
A016	Das Kommunikationsmodul	muss	maximale Abmessungen von 160mm (W)x130(D)x60mm(H) besitzen.	Q
A017	Das Kommunikationsmodul	muss	SPaT und CAM Nachrichten übermitteln können.	F
A018	Das Steuergerät	muss	das Kommunikationssystem tragen können. (Gewicht)	F
A019	Das Steuergerät	muss	das Kommunikationssystem versorgen können. (Energieverbrauch)	F
A020	Das Steuergerät	muss	eine dauerhafte Stromversorgung besitzen.	F
A021	Das Steuergerät	muss	eine Verbindung zum Kommunikationsmodul besitzen.	F
A022	Das Steuergerät	muss	eine drahtlose Kommunikation ermöglichen.	F
A023	Die Datensätze	müssen	den Etsi Regeln entsprechen – SPaT und CAM Nachrichten.	F
A024	Die Datensätze	können	verschlüsselt übertragen werden.	Q
A025	Die Datensätze	müssen	die ID, Zeitpunkt und die genaue Anforderung enthalten.	F

4.2 Auswahlprozess

Zuerst wurde eine Tabelle 3 mit einer Zusammenfassung der einzelnen bei Kapitel 2.4.3 gefunden Roboter erstellt. Diese Tabelle stellt die Nachteile und Vorteile des jeweiligen Systems grob dar.

Tabelle 3 - Auswahl Roboter

Name	Vorteile	Nachteile
Postbot	Nutzlast / Kapazität	Geschwindigkeit /nicht autonom /nicht geländegängig
LRU	geländegängig	Batterielaufzeit
GITA	Geschwindigkeit / Kapazität	noch nicht erhältlich*
Starship	Kapazität / Fahrverhalten	nicht frei erhältlich*
Jaguar	Fahrverhalten / Geschwindigkeit	teuer
Bert	geländegängig	langsam
Mir 100	Kapazität	Geschwindigkeit /nicht geländegängig /teuer
EV3	einfach zu programmieren	Spielzeug /Geschwindigkeit /Transportkapazität /günstig

*Stand 12/2017

Alle Roboter sind genau auf ihre persönlichen Bedingungen und Aufgaben zugeschnitten. Sie erfüllen alle ihrer Aufgabe und passen sich gut an. Aber für die oben genannten Anforderungen sind nicht alle Roboter verwendbar. Diese Ausgewählten wurden dann nochmal begutachtet und mit einem Ranking versehen. Für den Auswahlprozess wurde besonders darauf geachtet, wie sich der Roboter im Stadtverkehr verhält und wie beweglich er im urbanen Raum unterwegs sein kann. Dies meint vor allem die Verwendung der Kamerasysteme um Hindernisse zu erkennen oder die Bodenfreiheit, um eventuelle Unebenheiten zu überfahren oder auch Bordsteine zu erklimmen. [Tabelle 4]

Tabelle 4 - Ausgewählte Roboter mit Ranking

Name	Firma	Wofür	Ranking
Starship	Starship Technologys	Stadtverkehr	(1)
Jaguar 4x4	Dr Robot Inc.	All-Terrain	2
EV3	Lego Mindstorm	Technisches Spielzeug	3
Postbot	Deutsche Post	Stadtverkehr	4
Bert	DLR	Raumfahrt	5
Gita	Piaggio	Stadtverkehr	6
LRU	DLR	Raumfahrt	7
MiR 100	Smartrobotics	Lagerroboter	8

Der Starship Roboter ist die beste Wahl für das aktuelle Problem. Es bestand auch bereits Kontakt mit der Firma, aber aus kosten- und personalgründen seitens der Firma Starship konnte keine Kooperation vereinbart werden. Also fiel der Roboter aus dem Ranking heraus, da er sonst nicht frei verkäuflich ist. Somit blieb als Prototyp der Lego Mindstorm und als reales Testobjekt der Jaguar 4x4.

Die weitere Entwicklung wird in den nächsten Kapiteln beschrieben.

5 Zielkriterien

Erprobung neuer C2X-Komponenten

Ziel der Arbeit ist es, das kooperative Steuerverfahren AGLOSA so zu erweitern, dass es mobile Kleinstfahrzeuge und Roboter berücksichtigt. Eine Implementierung im Testlabor soll die Funktionsfähigkeit des Systems an einem Knotenpunkt nachweisen. Die Schwerpunkte liegen dabei bei der Definition der Anforderungen, wobei hier auch eine Verkehrsraumbetrachtung miteingeschlossen ist. Außerdem werden noch eine Erweiterung des kooperativen Steuerverfahrens und die Umsetzung des Kommunikationsprotokolls mit einem Erweiterungsvorschlag dieses Kommunikationsprotokolls untersucht.

Die Ziele, welche mit Sicherheitsvorkehrungen in VANETs im Kontext von Anwendungen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit verfolgt werden sollten, lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Korrektheit der versendeten Informationen
- Authentizität von Kommunikationspartnern
- Robustheit des Netzwerks gegen Angriffe

Diese Ziele sind nicht wirklich neu und gelten auch für viele andere Anwendungen, welche über ein Netzwerk kommunizieren. Zum Beispiel sind beim Onlinebanking die Korrektheit der Informationen und die Authentizität der Kommunikationspartner ebenfalls wichtig. Man möchte sicher sein, dass der Betrag auf das richtige Konto überwiesen wird und das man diese Information wirklich an seine Bank übermittelt. Die Herausforderungen bei der Umsetzung der obigen Ziele in VANETs kommen jedoch durch die in Abschnitt II vorgestellten Eigenschaften von VANETs. Zwei Herausforderungen ergeben sich aus der hohen Geschwindigkeit und den unterschiedlichen Bewegungsmustern der einzelnen Knoten in einem VANET. Zum einen ist die Kommunikationsdauer zwischen einzelnen Knoten recht kurz, weshalb die Authentifizierung des Kommunikationspartners und die Überprüfung auf manipulierte Informationen möglichst schnell erfolgen muss. Andererseits kommunizieren Fahrzeuge in einem VANET mit sehr vielen bis zu diesem Zeitpunkt unbekannten Kommunikationspartnern, mit denen sehr wahrscheinlich in naher Zukunft nicht wieder kommuniziert wird. Dies macht ein auf Bewertungen basierendes System zur Identifizierung von zuverlässigen Kommunikationspartnern schwierig. Ein weiteres Hindernis bei der Umsetzung von Ansätzen um die Sicherheitsziele zu erreichen ist, wie auch schon bei Routing-Protokollen, dass es weltweit viele

Automobilhersteller und Straßenverkehrsbehörden gibt. Diese müssen sich auf einheitliche Ansätze und Standards einigen, da Fahrzeuge verschiedener Hersteller miteinander kommunizieren müssen. Bei der Umsetzung wie Fahrzeuge sich in einem VANET gegenseitig authentifizieren, ist ein einheitlicher Ansatz zum Beispiel sehr wichtig, da ansonsten Fahrzeuge anderer Hersteller mit einem anderen Ansatz niemals als vertrauenswürdig eingestuft werden.

6 Systemkonzept

6.1 Grobkonzept

Das Systemkonzept sieht einen Roboter vor, der mit einer C2X Unit ausgestattet wird. In diesem C2X Modul wird die komplette Kommunikationseinheit verbaut sein. Dazu wird ein Steuergerät benötigt, das ebenfalls ein C2X Modul beinhaltet. Zwischen diesen beiden Parteien findet ein ständiger Informationsaustausch statt. [Abbildung 29] Dabei werden C2X Meldungen vom Typ CAM und SPaT übertragen. Dabei stehen die CAM Nachrichten für „Cooperative Awareness Message“, das meint die zeitgesteuerten Informationen über Anwesenheit, Position und Geschwindigkeit einer OBU. Bei den SPaT Nachrichten handelt es sich um die „Signal Phase and Timing“. Diese beinhalten die aktuelle Zustandsbeschreibung der LSA, sowie die Restlaufzeiten der Signale für jede Fahrspur. Intern werden die jeweils Übertragenen Daten dann weiterverarbeitet.

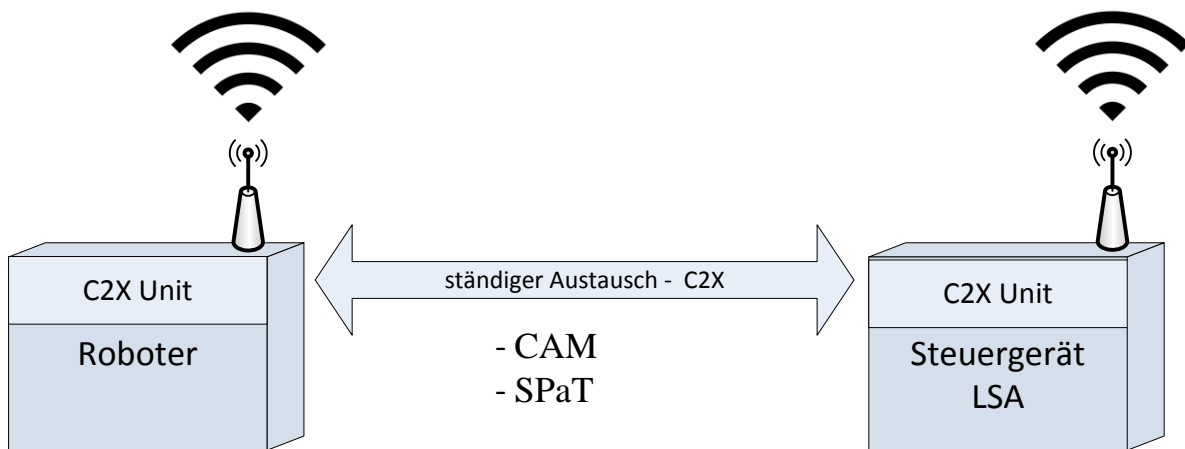


Abbildung 29 - Grobkonzept

Im nächsten Abschnitt wird das Detailkonzept erklärt, wie die Daten im Roboter und im Steuergerät weiterverarbeitet werden und welche Daten jeweils benötigt werden.

6.2 Detailkonzept

Das Detailkonzept stellt die internen Bestandteile im System dar. Hier dann jeweils auf der Seite des Roboters und auf der Seite des Steuergerätes.

Innerhalb des Roboters, wird zwischen der C2X Unit und dem Roboter einen ständigen Austausch über

- Bewegungsrichtung bzw. aktuelle Route oder Knotenpunkt
- Geschwindigkeit
- Position GPS/ Glonass / Galileo
- GLOSA
- Schaltzustände der LSA

gehalten.

Die gesamte Kommunikation übernimmt die API. Diese packt die Daten in ein Stream und sendet diesen dann an die gegenüberliegende Stelle. Verdeutlicht wird das in der Abbildung 30. Der Stream wird in beide Richtungen benutzt. Somit erfolgt der Datenaustausch in beide Richtungen.

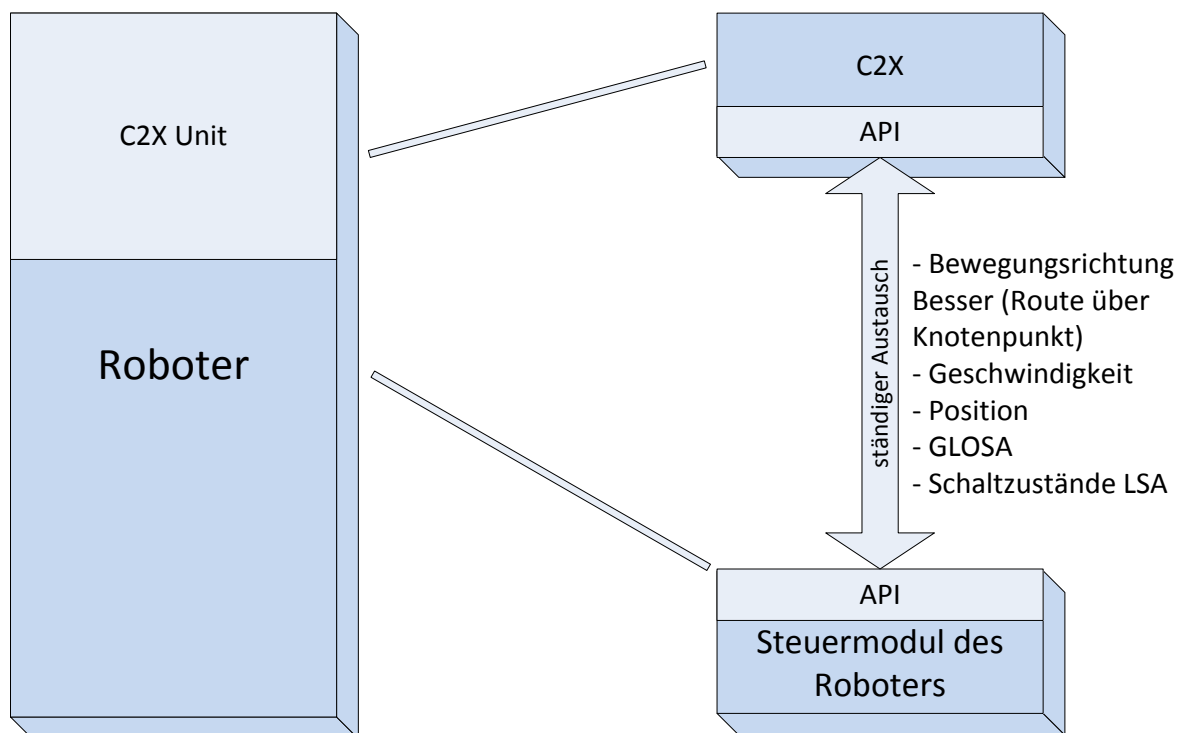


Abbildung 30 - detailliertes Systemkonzept

6.3 Komponenten des Systems

Dieser Abschnitt beinhaltet die Auflistung aller Komponenten, die für das Erfüllen der Anforderungen von Nöten sind und damit das System lauffähig ist. Außerdem ist eine Tabelle 5 mit allen Adressen der Komponenten eingefügt.

Tabelle 5 - Zuordnung Komponenten

Komponente	Adresse
Roboter BT	00:16:53:41:A9:49
Raspberry Pi BT	B8:27:EB:11:77:95
Raspberry Pi IP	192.168.10.301
C2X Unit Roboter IP	192.168.10.130
C2X Unit Steuergerät IP	192.168.10.131
Beckhoff IPC IP	192.168.10.110

6.3.1 Roboter

Dieser wird durch den Auswahlprozess in Kapitel 7.2 beschrieben und ausgewählt. In Tabelle 6 - Eigenschaften des Roboters werden nochmal die Eigenschaften des Roboters aufgeführt. Beschrieben werden hier die Eigenschaften des Lego Mindstorm EV3.

Tabelle 6 - Eigenschaften des Roboters

Eigenschaft	Ausführung
Veröffentlichung	September 2013
Prozessor	TI Sitara AM1808 - 300 MHz
Speicher	64 MB RAM/ 16 MB Flash
Anzahl Ein-/ Ausgänge	4 / 4
USB Port	Ja
WLAN	Ja
Bluetooth	Ja

6.3.2 Raspberry Pi

Der Raspberry Pi ist ein Einplatinencomputer, der von der britischen Raspberry Pi Foundation entwickelt wurde. Der Rechner enthält ein Ein-Chip-System von Broadcom mit einem ARM-Mikroprozessor. Die Grundfläche der Platine entspricht etwa den Abmessungen einer Kreditkarte. Zudem verfügt er über WLAN, sowie ein Bluetooth Low Energy Modul, wodurch die Konnektivität mit anderen Elementen stark verbessert wird. Verwendet wird der Raspberry deshalb, weil bereits Erfahrung mit der Programmierung vorhanden war. Auch musste dieser nicht extra gekauft werden, was der Zeitkomponente entgegenkam, da er noch ungenutzt im Lager lag.

Tabelle 7 - Eigenschaften Raspberry Pi 3

Eigenschaft	Ausführung
Veröffentlichung	September 2016
Prozessor	Quad Core ARM 7100 - 1.2 GHz
Speicher	1 Gb Ram / SD Karte
Versorgungsspannung	5 V
USB Port	4
WLAN	Ja
Bluetooth	Ja

6.3.3 Steuergerät

Als Steuergerät wird ein Siemens Steuergerät C940V verwendet. Dieses versorgt die Kreuzung und somit die Signalgeber mit den notwendigen Steuerbefehlen. Außerdem ist in dem Schaltschrank eine Hut-Schiene verbaut, auf die ein Relais oder auch ein Industrie-PC befestigt werden kann.

Tabelle 8 - Eigenschaften des Steuergerätes

Eigenschaft	Ausführung
Netzanschlussspannung	230 V AC
Versorgungsspannung	40 V
Absicherung	25 A
Technik	48 Signalgruppen in einer Teilkreuzung
Umgebungstemperatur	–25 °C bis +55 °C Außentemperatur
Prozessor	32-Bit Prozessor Motorola Power-PC MPC8270/266 MHz
Speicher	88MB
Schnittstellen	– 11 Serielle Schnittstellen (plus 3 optional über SEM) – 2 Ethernet – USB-Schnittstelle

6.3.4 Beckhoff IPC

Das Segment "IPC" umfasst Industrie-PCs und Embedded-PCs. Damit werden außerdem Schaltschrank-Industrie-PCs gemeint, die direkt auf der Hutschiene im Schaltschrank montiert werden können. Die Embedded-PCs sind sehr kompakt und verfügen an der rechten Seite über eine Anschlussfläche für Busklemmen oder EtherCAT-Klemmen.

Tabelle 9 - Eigenschaften des Beckhoff PCs

Eigenschaft	Ausführung
Prozessor	Intel® Celeron® M ULV, 1 GHz
Flash-Speicher	128-MB-Compact-Flash-Karte
Interner Arbeitsspeicher	256 MB DDR-RAM
Schnittstellen	2 x RJ45, 10/100 MBit/s
Max. Verlustleistung	11 W
Betriebs-/Lagertemperatur	0...+50 °C/-25...+85 °C
Schutzart	IP 20

6.3.5 C2X Kommunikationseinheit

Die C2X Kommunikationseinheit besteht aus der NEC Linkbird Testplattform. Diese hat folgende Eigenschaften, wie in Tabelle 10 - Eigenschaften der C2X Kommunikationseinheit beschrieben. Es gibt natürlich noch viele weitere Anbieter von C2X Plattformen, wie DENSO und die escrypt GmbH. Die Produkte der unterschiedlichen Firmen unterscheiden sich nicht stark. Da zwei NEC Einheiten im DLR vorhanden waren und diese sich nur in wenigen Details unterscheiden, wurden die Boxen von NEC einfachhalber verwendet. Hier wurde auf einen Auswahlprozess verzichtet.

Tabelle 10 - Eigenschaften der C2X Kommunikationseinheit

Eigenschaft	Ausführung
Prozessor	64bits MIPS @266MHz
Flash-Speicher	12 MB NAND-Flash
Interner Arbeitsspeicher	128 MB SD-RAM
Schnittstellen	1 x RJ45, 10/100 MBit/s
Versorgungsspannung	12V DC mit maximal 400mA
Betriebs-/Lagertemperatur	-20...+65 °C/-40...+85 °C
WLAN 802.11a/b/g	Ja

6.3.6 Signalgebermasten

Diese Masten sind aus Metall und tragen die entsprechenden Signalgeber für eine normale Kreuzung. Sie wurde für das Testlabor (LSA Labor) angeschafft. „Das LSA-Labor ist eine Entwicklungs- und Testumgebung für Steuergeräte von Lichtsignalanlagen (LSA). Es ermöglicht die Erprobung neuer Sensorik-Komponenten, die Implementierung neuer Hardware-schnittstellen, die praktische Erprobung innovativer Steuerungsverfahren, die technische Prüfung der Lauffähigkeit der LSA-Modifikationen für die Übertragung ins Feld sowie die Vernetzung mit anderen LSA-Steuergeräten. Mit einer Ausstattung, wie sie auch an realen Kreuzungen zu finden ist, und zusätzlichen Hardware- und Softwarekomponenten, können Tests und Demonstrationen im Labor selbst oder auf abgesperrtem Gelände durchgeführt werden. Rahmenverträge mit Städten und Generalübernehmern ermöglichen ein schnelles und zielorientiertes Testen neuer Verfahren und Technologien auch im realen Straßenverkehr. Das LSA-Labor fungiert somit als Bindeglied zwischen computergestützter Simulation und Feldtest unter realen Bedingungen für neue Technik und Verfahren im Bereich der Lichtsignalsteue-

rung. Das LSA-Labor ist ein Baustein der Anwendungsplattform Intelligente Mobilität (AIM), die ein breites Instrumentarium für die Erforschung und Erprobung zukünftiger Mobilität in Simulation und Realität beinhaltet.“ [50]

Das gesamte System sieht schematisch aus, wie in Abbildung 31 gezeigt.

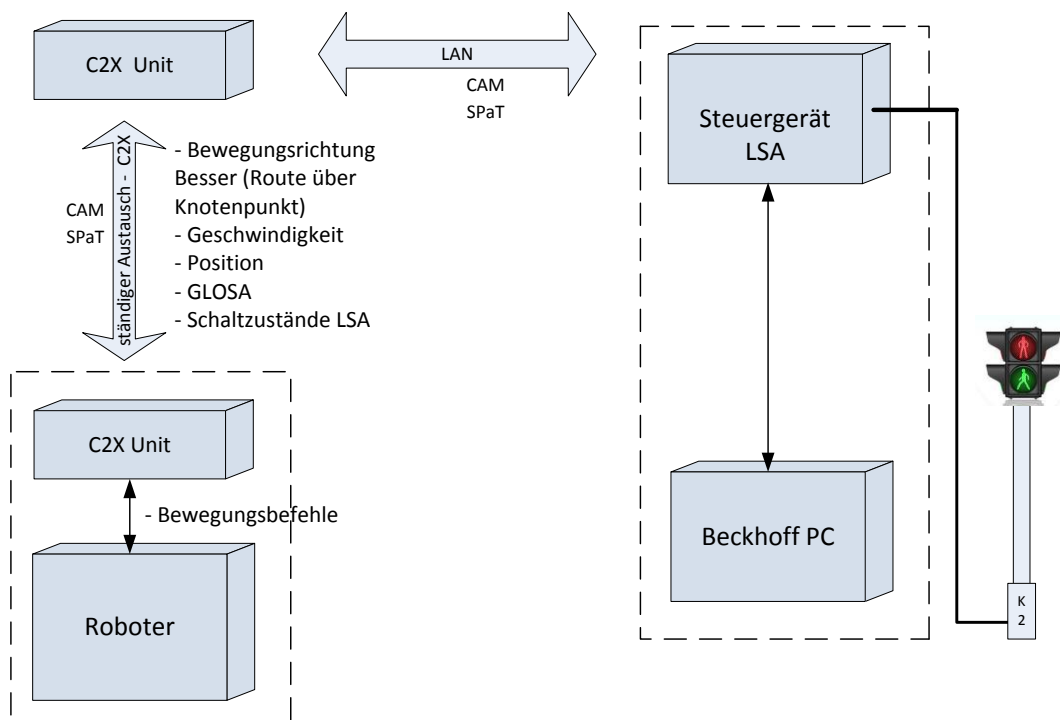


Abbildung 31 - Gesamtkonzept

6.4 Implementierung

Nachdem im den vorigen Kapiteln das Konzept des Systems erklärt wurde und die einzelnen Elemente eingeführt wurden, wird in diesem Kapitel eine detaillierte Beschreibung der technischen Realisierung des Systems vorgestellt. In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Schritte für die Umsetzung des Robotersystems beschrieben. Zuerst werden die Implementierungen der Nachrichten erklärt, anschließend wird das Thema Entwurf behandelt, indem eine kurze Erklärung für die Implementierung gegeben wird. Als Nächstes werden die Anwendungseinstellungen dargestellt, welche Daten erhoben und welche Daten zwischen den Geräten übermittelt werden. Im letzten Teil dieses Kapitels wird der Ansatz zum Einlesen der eingehenden Ampeldata erklärt.

6.4.1 Nachrichtenarten

Verwendet werden die beiden Nachrichtenarten CAM und SPaT. Diese werden im nächsten Abschnitt nochmal aus Sicht deren Implementierung genau erläutert.

6.4.1.1 Cooperative Awareness Message

CAM-Botschaften sind die wertvollste Nachrichtenart für C2X-Kommunikationssysteme. Jeder Teilnehmer am VANET, versendet seine regelmäßig und automatisch erzeugten CAM-Nachrichten an alle anderen Nutzer des Adhoc Systems in ihrer WLAN-Reichweite, um ihre Anwesenheit beziehungsweise ihre aktuellen Fahrsystemzustände mitzuteilen. Die CAM-Botschaften enthalten dabei Fahrzeugdaten des Senders, die sich jeweils einmal in Zustands- und in Eigenschaftsdaten aufteilen. Diese Daten sind jedoch, entsprechend der Art jedes Teilnehmers, vom Inhalt her sehr unterschiedlich. Das meint, dass nur die benötigten Informationsdaten gesendet werden sollten. Dadurch wird die Datengröße des übertragenen Pakets so gering wie möglich zu halten. Diese Daten sind dann beispielsweise die GPS-Position, Geschwindigkeit, Fahrtrichtung und auch ausgelöste Sicherheitssysteme, wie etwa ACC, ESP oder ABS. Zu den Eigenschaftsdaten gehören die Fahrzeuggröße, Fahrzeugart und deren Verwendung, wie „publicTransport“, „emergency“, „safetyCar“, „specialtransport“ und vielen weiteren. Die vollständige Erklärung der jeweiligen Komponenten der CAM-Botschaft wird in der ETSI EN 302 637-2 Anhang B ausführlich beschrieben. [2] „CAM-Botschaften, einschließlich der Zustandsdaten von dem Sender, sind von besonderer Bedeutung für die Empfängerseite. Mittels dieser Nachrichten können Empfänger die anderen Verkehrsteilnehmer erkennen und kritische Situationen vorhersehen. Die Übertragung von CAM-Botschaften basiert auf dem im Abschnitt 2.2 beschriebenen Verfahren mit einem einzigen Hop. Das heißt,

die CAM-Botschaften werden unmittelbar von einem Teilnehmer an alle benachbarten Teilnehmer versendet. Diese befinden sich in der Kommunikationsreichweite des Senders. Hierbei wird die Nachricht von dem Empfänger nicht weitergeleitet. An dem Übertragungsprozess der CAM-Botschaften werden deswegen nur Sender und Empfänger beteiligt. Unter Berücksichtigung des eigenen Änderungszustandes generiert ein Teilnehmer ihre CAM-Botschaften periodisch mit einer gesteuerten Frequenz von 1 bis 10Hz, die dem Zeitintervall zwischen 1000 und 100ms entspricht. Im Normalfall wird eine Niedrigfrequenz von 2Hz (500ms) genutzt. Bewegt sich der Teilnehmer, d. h. es liegt eine Änderung der Geschwindigkeit, Position und Richtung vor, wird die Frequenz auf den maximalen Wert von 10 Hz, entsprechend dem Minimumwert des Zeitintervalls von 100ms, erhöht.“ [51]

Die Hochfrequenz wird besonders für vier Ereignisse verwendet:

- Emergency Vehicle Warning
- Slow Vehicle Indication
- Intersection Collision Warning
- Motorcycle Approaching Indication

Beim Eintritt von anderen Ereignissen, die sowohl eine Hochfrequenz als auch eine größere Übertragungsreichweite erfordern, ist die Anwendung von DENM-Botschaften geeignet. [52]

Die CAM-Nachrichten Parameter, die die Position des eigenen Fahrzeugs bestimmen. Es werden die geographischen Koordinaten (bzw. Global Positioning System (GPS)-Koordinaten) verwendet, die mit den Namen longitude und latitude bekannt sind. Die CAM-Nachrichten werden in regelmäßigen Zeitabschnitten abgeschickt. Deshalb wird die Position des Roboters in zwei benachbarten Zeitpunkten gespeichert. Dies bezeichnet die Distanz, welche das Fahrzeug in diesem Intervall zurückgelegt hat. Wenn die Zeit für das Ablegen der Distanz bekannt ist, kann die Geschwindigkeit des Roboters leicht durch die Formel ermittelt werden.

$$V = \frac{s}{t}$$

Formel 1 - Berechnung Geschwindigkeit

Bei der CAM-Nachricht ist es auch gedacht, dass Daten aus dem Navigationsprotokoll integriert werden. Um im Straßenverkehr die Roboter besser kenntlich zu machen, werden sie als „specialtransport“ gekennzeichnet.

6.4.1.2 Signal Phase and Timing

„SPAT-Botschaften werden von einer RoadsideUnit ITS-Station an Kreuzungen periodisch generiert, um alle in den Bereich fahrenden ITS-Stationen über planmäßige Betriebszustände der Lichtsignalanlage zu informieren. Diese Botschaften beinhalten vor allem Informationen über die aktuelle Signalphase und deren entsprechende Schaltzeit, die für die Fahrzeuge relevant sind. Dazu gehören auch beispielsweise Hinweise zu einem noch möglichen Überqueren der Kreuzung während einer Grünphase oder spezielle Vorrang-signale für den öffentlichen Personennahverkehr. Um Zugang zu den Informationsquellen zu haben, ist eine Verbindung zwischen der RSU ITS-Station und dem Steuersystem der Lichtsignalanlage erforderlich. Außerdem muss der Sender gewährleisten, dass eine Kommunikationsreichweite von mindestens 400 Metern vor und hinter der Lichtanlage gegeben ist. Als Standardübertragungsart wurde das Topologically-Scoped Broadcast ohne Hopping festgelegt, welches vergleichbar mit dem Single-Hop Übertragungsverfahren ist.

Im Zusammenhang mit einer sogenannten MAP-Botschaft ermöglicht die SPAT-Nachricht, dass Fahrzeuge die Kreuzungsgeometrie frühzeitig und zuverlässig erkennen können. Dadurch kann beispielsweise die gewünschte Fahrspur vorausgewählt werden. Außerdem können potenzielle Konfliktflächen der Kreuzung richtig erkannt werden.“ [52]

Die SPAT-Komponente ist zuständig für die Ampelphasen und deren Dauer. Sobald der Handler eine eingehende Nachricht registriert, wird es zuerst überprüft, welche die nächste Kreuzung ist. Wenn sich die SPAT-Nachricht auf diese Kreuzung bezieht, dann wird eine Liste aus „MovementStates“ Objekten erzeugt. Jedes Objekt repräsentiert eine Ampel und deren Zustände. Die Information, die jede Ampel enthält, ist die Farbe der aktuellen Phase, die Restzeit und die Dauer aller möglichen Ampelphasen. Die entsprechenden Werte werden mit Hilfe der Setter-Methoden gesetzt. Auf Abbildung 32 sind die Attribute der Objekte zu sehen.

- current_state - aktueller Zustand der Ampel
- next_change - Dauer in Sekunden bis zu nächsten Ampelphase
- states - Liste mit Dauer aller Ampelphasen
- laneSetList - die Nummer aller Fahrspuren, die eine Verbindung zu der Ampel haben

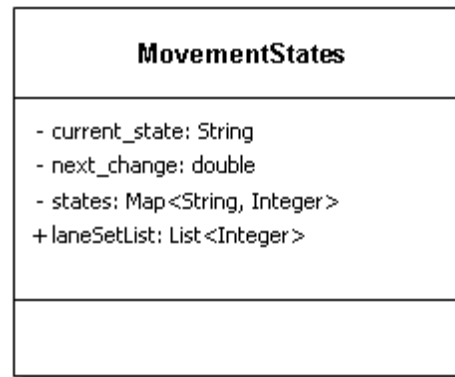


Abbildung 32 - MovementStates einer SPaT Nachricht

Dieser Nachrichtentyp enthält alle Informationen der LSA. Es wird genau aufgeführt, wie lange für welche Fahrspur die einzelnen Phasen gelten. In Abb. 33 werden die einzelnen Elemente der SPaT Nachricht aufgezeigt.

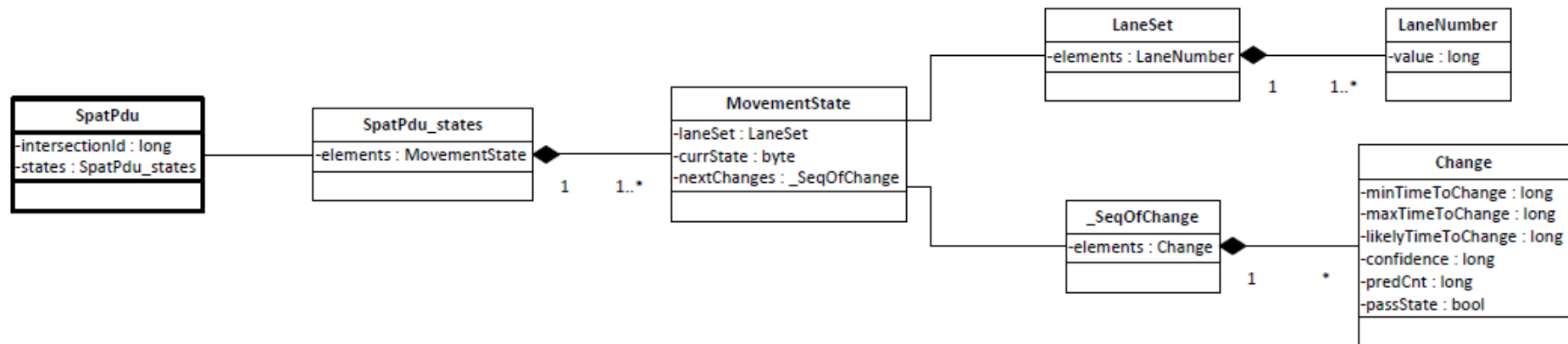


Abbildung 33 - Aufbau einer SPaT

6.4.1.3 Einlesen der eingehenden SpdT Nachrichten

Eine Aufgabe der Anwendung, die ausgeführt wird, ist es die eingehenden C2X Nachrichten als User Datagram Protocol (UDP)-Pakete zu sammeln. Die Ausführung dieser Aufgabe wird in einem separaten Thread implementiert. Sobald Nachrichten kommen, werden die in einem Puffer geschrieben und nachfolgend an einen dafür zuständigen Handler weitergeleitet. Je nach Typ der Meldung wird sie unterschiedlich in den weiteren Bearbeitungsschritten behandelt.

6.4.2 Umsetzung des Systemkonzeptes

Anschließend wurde das Systemkonzept [Abb. 34] aus Kapitel 6.2 in Software umgesetzt. Dafür wurde die Software Netbeans IDE <https://netbeans.org/> verwendet. Netbeans ist eine freie integrierte Entwicklungsumgebung, die hauptsächlich für die Programmiersprache Java entwickelt wurde, unterstützt jedoch auch C, C++ und dynamische Programmiersprachen.

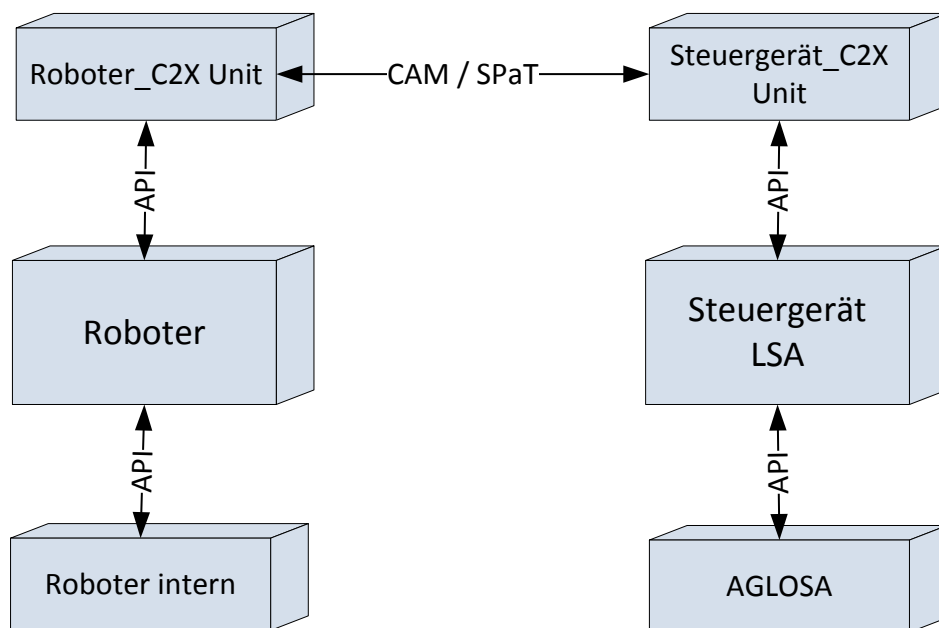


Abbildung 34 - Systemkonzept

Die beiden Nachrichtenarten werden jeweils in den Klassen „_C2X Unit“ generiert und versendet. Über eine API werden die Roboter- und Steuergerätklassen mit Informationen versorgt. Wie das Systemkonzept nun im realen Aufbau aussehen soll, wird in Abbildung 35 deutlich. Dort werden auch nochmal die verwendeten Kommunikationsprotokolle dargestellt.

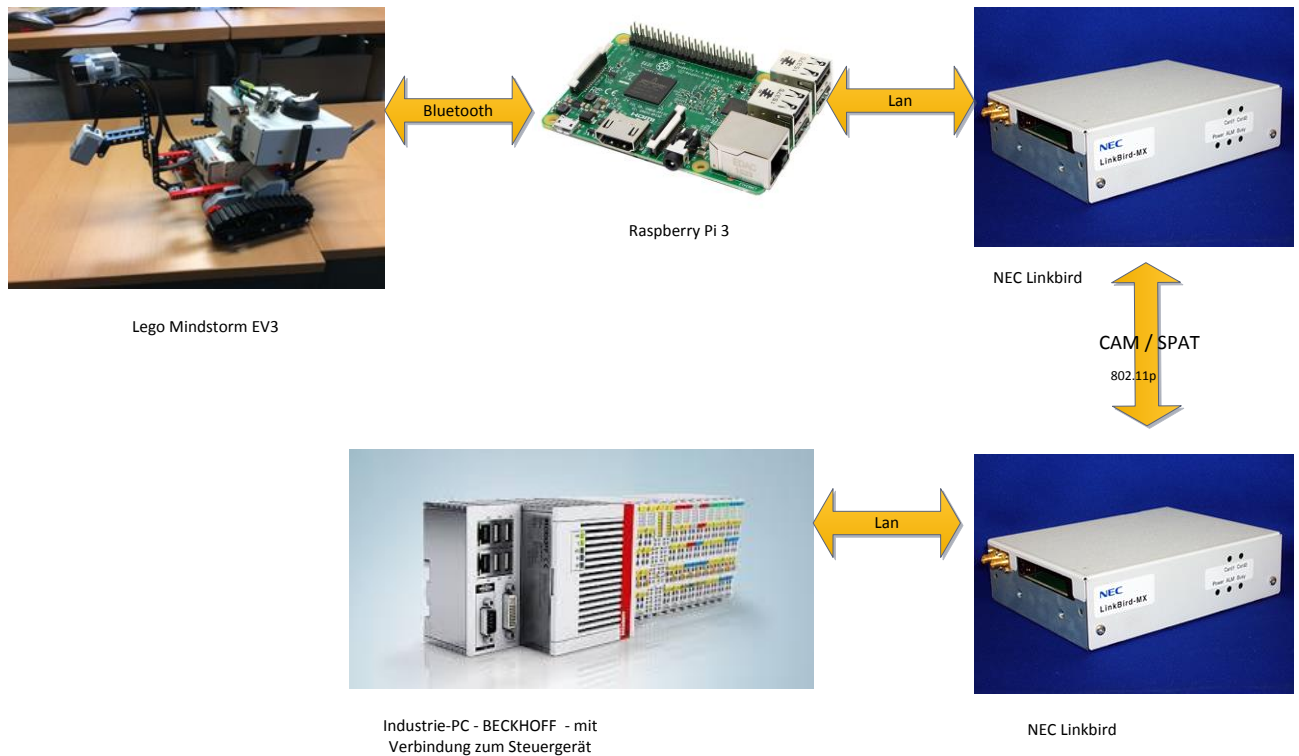


Abbildung 35 - Systemkonzept

In der Masterarbeit ist es nicht die Aufgabe, dem Roboter die Navigation zu implementieren. Das meint, die Algorithmen für die Bilderkennung oder die Steuerung der Motoren. Es geht in der Arbeit nur darum, ihm die einzelnen Steuerbefehle zu geben, beziehungsweise soll er eine ihm gegebene Route abfahren. Im späteren Verlauf soll der Roboter automatisch eine Route anhand von Kartenmaterial und einem Start-, sowie Endpunkt generieren und diese abfahren. Diese Funktionalität wird mit dem Mindstorm insoweit umgesetzt, dass dieser mithilfe seines Liniensensors einer Linie auf dem Boden folgt. In Abbildung 36 - Programmierung Mindstorm ist die Implementierung des Mindstorm zu sehen. Nachdem die Schleife gestartet wurde, wird der Liniensensor aktiviert. Je nachdem, wo sich die Linie befindet, wird entweder die linke Motorsteuerung oder die rechte Steuerung aktiviert. Anschließend fährt der Mindstorm für fünf Sekunden vorwärts. Im nächsten Block wird eine Statusleuchte aktiviert, die zeigen soll, dass eine Bluetooth Verbindung aufgenommen wird. Dies sind die beiden blauen Blöcke im Schaltbild. Zuerst wird eine Verbindung erstellt und anschließend eine Nachricht versendet. Im Testbetrieb wird nur eine „1“ versendet. Im letzten Block wird die Statusleuchte wieder ausgeschaltet. Die Schleife wird solange durchlaufen, bis der Liniensensor eine weiße Linie sieht.

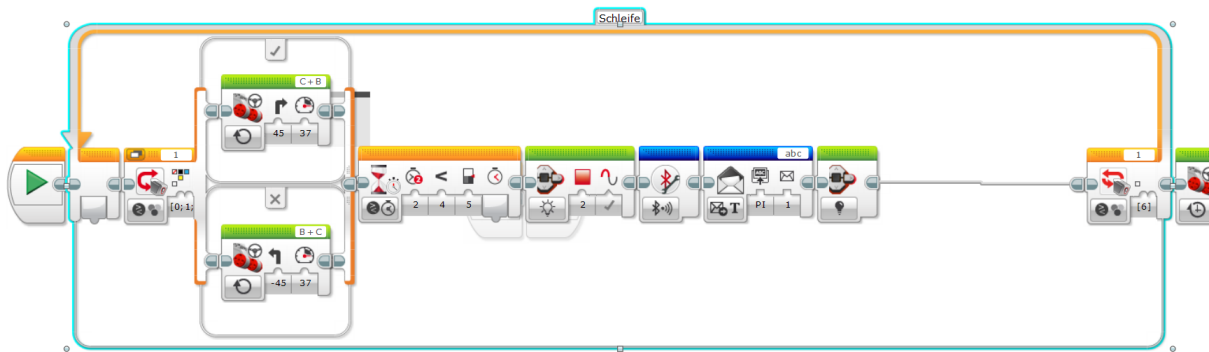


Abbildung 36 - Programmierung Mindstorm

Nebenbei wird eine Bluetooth Verbindung gestartet, die sich mit dem Raspberry Pi koppelt. Dies wird mithilfe eines .bash Skriptes, das auf dem Raspberry Pi automatisch gestartet wird erreicht [Abb. 37]. Dabei steht in Zeile zwei eine Schleife, die alle 30 Sekunden das Programm erneut ausführt. In Zeile vier wird die Bluetooth Verbindung gestartet und in Zeile sechs, die Verbindung zum EV3 hergestellt.

```

1  #!/bin/bash
2  while (sleep 30)
3  do
4  sudo bluetoothctl
5  power on
6  connect 00:16:53:41:A9:49
7  exit
8  done

```

Abbildung 37 - Bluetooth Skript

Der Roboter sendet dann in Abhängigkeit von Strecke und Zeit eine Bluetooth Nachricht an den Raspberry Pi. Dafür wird mithilfe des Skriptes eine Bluetooth Verbindung hergestellt [Abb. 38].

```

116 public void servicesDiscovered(int transID, ServiceRecord[] servRecord) {
117     for (int i = 0; i < servRecord.length; i++) {
118         String url = servRecord[i].getConnectionURL(ServiceRecord.NOAUTHENTICATE_NOENCRYPT, false);
119         if (url == null) {
120             continue;
121         }
122         DataElement serviceName = servRecord[i].getAttributeValue(0x0100);
123         if (serviceName != null) {
124             System.out.println("service " + serviceName.getValue() + " found " + url);
125
126             if (serviceName.getValue().equals("OBEX Object Push")) {
127                 sendMessageToDevice(url);
128             }
129         } else {
130             System.out.println("service found " + url);
131         }
132     }
133 }
134
135

```

Abbildung 38 - Verbindung mit Bluetooth Device

Auf dem Raspberry Pi ist eine Java 8 Version installiert, die das entwickelte Java Programm ausführt. Sobald das Programm die Nachricht des Pi empfängt, wird ein Algorithmus gestartet, der eine CAM Nachricht generiert. Diese wird dann per Lan an die Linkbird C2X Box weitergeleitet und somit per 802.11p in Umlauf gebracht [Abb. 39]. Die Cam Nachricht wird dann entsprechend an der Gegenstelle – auch eine Linkbird Box - im Steuergerät empfangen. Diese wertet die Daten der Cam Nachricht aus und überträgt diese per Lan an den Beckhoff IPC. Auf diesem Rechner ist das Steuerverfahren AGLOSA implementiert. An dieses wird die CAM Nachricht weitergeleitet und dann intern verarbeitet. Anschließend wird vom AGLOSA System eine SpaT Nachricht auf dem umgekehrten Weg versendet. Diese erreicht dann die Linkbird Box am Roboter und wird vom Raspberry Pi verarbeitet. Nach dem Verarbeiten wird dem Roboter per Bluetooth ein Steuerbefehl gesendet. Dieser setzt sich dann wieder in Bewegung und überquert die Straßenkreuzung während der Grünphase.

Der Roboter folgt also in diesem ersten Szenario nur einer Linie und bekommt über die Bluetooths Verbindung mit dem Raspberry Pi seine Steuerbefehle gesendet.

```

66 public void send(DLRCAM cam)
67 {
68     DLRLogger.fine(this, "Sending CAM message to CCU in " + Config.getInstance().ccuOutputAddress + ":"
69         + Config.getInstance().ccuOutputPort);
70
71     if(Config.getInstance().ccuShowOutgoingHex)
72         DLRLogger.info(this, "Sending CAM message: 0x"+ BytesTools.bytesToHex(cam.getBytes()));
73
74     CCUMessage mes = ccu.createCCUMessage();
75     mes.setPayload(cam.getBytes());
76     mes.setDestinationPort(C2XMessageType.CAM.getBtpPort());
77     mes.setDisseminationType(DisseminationType.get(
78         C2XMessageType.CAM.getDisseminationType().getPacketTransportType(),
79         C2XMessageType.CAM.getDisseminationType().getPacketTransportSubType()));
80
81     ccu.sendMessage(mes);
82
83     String string = ColorString.string(Long.toString(messagesSent), Color.GREEN, Effect.BOLD);
84     if(messagesSent++%10 == 0)
85         DLRLogger.info(this, string + " messages sent since " + Config.getInstance().systemStartDate);
86 }

```

Abbildung 39 - Skript zum Versenden von CAM Nachrichten

6.4.3 Ermittlung der relevanten Spur

Ein wichtiger Aspekt bei der Implementierung der Anwendung ist der Algorithmus für das Auffinden der relevanten Spur. Hier ist auch der Zugangspunkt gemeint, um sich zum einen bei der LSA anzumelden und zum anderen die Kreuzung von der richtigen Seite her zu überqueren.

Derzeit wird dem Roboter vorgegeben, wo er langfahren muss. Dies geschieht anhand einer Linie, die auf dem Boden aufgezeichnet ist. Wie beschrieben folgt der Roboter dieser Linie. Später im endgültigen System wird im Roboter eine Navigationssoftware vorhanden sein, der dann genau diese Linienfolgen Applikation ersetzt und erweitert. Hier werden dann Karten hinterlegt, die mit speziellen Geopositionen unterstützt werden. Diese Geopositionen beinhalten dann die Kreuzung mit der LSA und dem C2X Modul. Diese geben dann eine GPS Position an, auf die der Roboter in der Navigationssoftware zugreifen und dann zufahren kann.

7 Durchführung und Auswertung

Im LSA Labor wurde eine kleine Versuchsstrecke aufgebaut, auf der sich der Roboter bewegen musste. Damit sollte der erste Usecase dargestellt werden. Dies waren der Test und die Demonstration des Nachrichtenaustauschs zwischen dem Roboter und der Ampel beziehungsweise dem Steuergerät nach den standardisierten Protokollen (ETSI und OCIT). Dabei sollte die praktische Nutzung des Fußgängerweges für die Überquerung für den Roboter erprobt werden. Der Versuchsaufbau war so gestaltet, dass der Roboter sich an schwarzen Linien auf dem Boden orientiert und sich an der Kreuzung anmeldet, um dann automatisch über die Kreuzung zu fahren. Bei diesem Versuch ging es nicht darum, die Wartezeit zu verkürzen, sondern nur die Funktionalität zu testen. Dabei geht es um die Kommunikation zwischen Roboter und dem Steuergerät der Kreuzung.

Eine erste Schwierigkeit war, dass der Liniensensor die ihm vorgegebene Linie nicht erkannte. Als mögliche Verbesserung wurde der Sensor tiefer und direkt über der Linie positioniert. Anschließend wurde die Linie korrekt erkannt. Die neue Position des Sensors wird in der Abbildung 40 deutlich.



Abbildung 40 - im Testlabor

Bei den Versuchen im Labor, viel auf, dass teilweise die Bluetooth Verbindung zwischen den beiden Geräten abbrach oder erst gar nicht zustande kam. Der Grund hierfür waren andere Geräte in der Nähe des Labors. Die Kommunikation zwischen den beiden C2X Einheiten funktionierte auch nach leichten Startschwierigkeiten gut. So wurden Testnachrichten von der einen Einheit versendet und bei der anderen Einheit empfangen.

Der Aufbau, wie er unter 6.4.2 beschrieben wurde, stellt nur einem Prototyp dar. Im endgültigen Aufbau wird der Raspberry Pi nicht mehr vorhanden sein, da dann die Recheneinheit im Roboter direkt untergebracht wird. Auch die C2X Unit sollte im Bestmöglichen Fall schon im Roboter angebaut, oder aber verbaut sein. Somit fällt beim regulären Aufbau ein Kommunikationsschritt weg, nämlich die der Bluetooth Verbindung.

Beim ersten Usecase war das Ziel, das System zu testen und eine Demonstration des Nachrichtenaustauschs zwischen Roboter und Ampel/Steuergerät nach standardisierten Protokollen (ETSI und OCIT). Dafür wurde die Nutzung des Fußgängerweges für die Überquerung eingeplant. Dabei wurde der Versuchsaufbau so gestaltet, dass der Roboter sich an der Kreuzung anmeldet und dann automatisch über die Kreuzung fährt. Bei diesem Versuch geht es nur darum, die Funktionalität zu testen. Für den Test wurde ein Steuergerät, zwei Signalmasten, der Roboter und zwei C2X-Einheit/angepasste Kommunikationseinheit, sowie der Raspberry Pi benötigt. Das Protokoll zum Versuch ist im Anhang angefügt.

Im zweiten Usecase war das Ziel die Verbindung des ersten Ansatzes mit einem kooperativen Steuerverfahren, um die Wartezeit aller Verkehrsteilnehmer an der Kreuzung zu optimieren. Hier wurde nun der Roboter mit einem kooperativen Steuerverfahren verknüpft, sodass die Koordination der Kreuzung hinsichtlich der Wartezeit optimiert wird. Dieser Anwendungsfall erweitert die Testphase I um die Funktionalität eines kooperativen Steuerverfahrens. Der Roboter mit dem Raspberry Pi und der C2X-Box meldet sich mit Ihren CAM Nachrichten bei der anderen C2X im Steuergerät an und erhält SPaT Nachrichten für das Passieren der Testkreuzung zurück. Auch bei diesem Usecase befindet sich das Versuchsprotokoll im Anhang.

Nach der absolvierten Durchführung im Labor muss natürlich noch ein Feldtest an einer realen Kreuzung durchgeführt werden. Dabei stellt sich die Frage, was muss von der Adaption aus dem Labor in die reale Welt verändert werden, damit der Roboter berücksichtigt wird. Zum einen muss das Steuergerät mit AGLOSA Verfahren versorgt sein, zudem muss eine C2X Einheit verbaut sein. Diese muss dann die Daten, die sie empfängt an das AGLOSA Ver-

fahren weiterleiten können. Auch muss für den Liniensensor eine andere Möglichkeit am Roboter geschaffen werden. Hier wäre eine mit einer GPS unterstützte Routenfunktion hilfreich.

Aus den Informationen und der Durchführung der Anwendungsfälle sind einige Dinge aufgefallen. Zum einen kam die Idee auf, wie eine komplette Kreuzung im innerstädtischen Bereich aussieht, wenn zusätzliche Spuren für Roboter hinzugefügt werden sollten. Dafür kann der Bereich zwischen der Haltelinie, in der Abbildung 40 dunkelblau eingezeichnet und der Fußgängerfurt benutzt werden. Der Abstand zwischen Haltelinie und Fußgängerfurt muss mindestens 2m betragen (RiLSA Seite 35). [27] Der Platz wird derzeit nicht genutzt und dient als zusätzlicher Sicherheitspuffer für die Fußgängerquerung. Im Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen [53] wird auf Seite 6-70 erläutert, wie eine vierarmige Kreuzung mit Lichtsignalanlage aufgebaut werden muss. In der RiLSA [27] wird auf Seite 34 und 35 erklärt, wie breit die Furten für Fußgänger sein müssen und in welchem Abstand dazu die Haltelinien dargestellt werden müssen, um die Regularien und Vorschriften zu erfüllen. Meine Erweiterung sieht nun eine einfache Furt, ähnlich wie die Fußgängerfurt, vor. Diese wird in den Freiraum zwischen Haltelinie und Fußgängerfurt eingepasst.

Bei der Abbildung 41 soll nur ein Entwurf dargestellt werden. Es wurde dabei nicht auf die genaue Bemaßung und Einhaltung aller Richtlinien und Vorschriften geachtet.

Durch die neu hinzugekommene Spur für Roboter sind auch die Fußgänger besser geschützt, sollte wirklich mal ein KFZ die Haltelinie überfahren, so kommt es nur zu einem geringen Unfall, wenn ein Roboter vom KFZ getroffen wird. Beim Quer- und Abbiegeverkehr ist diese Anordnung auch sinnvoller, da die Roboter einfacher übersehen werden können. Es macht sich dort einfacher, eine Person neben dem Auto zu erkennen, als ein etwa 30- 40cm hoher Roboter. Somit sind die Fußgänger näher am Abbiegenden Fahrzeug und werden besser vom Autofahrer wahrgenommen.

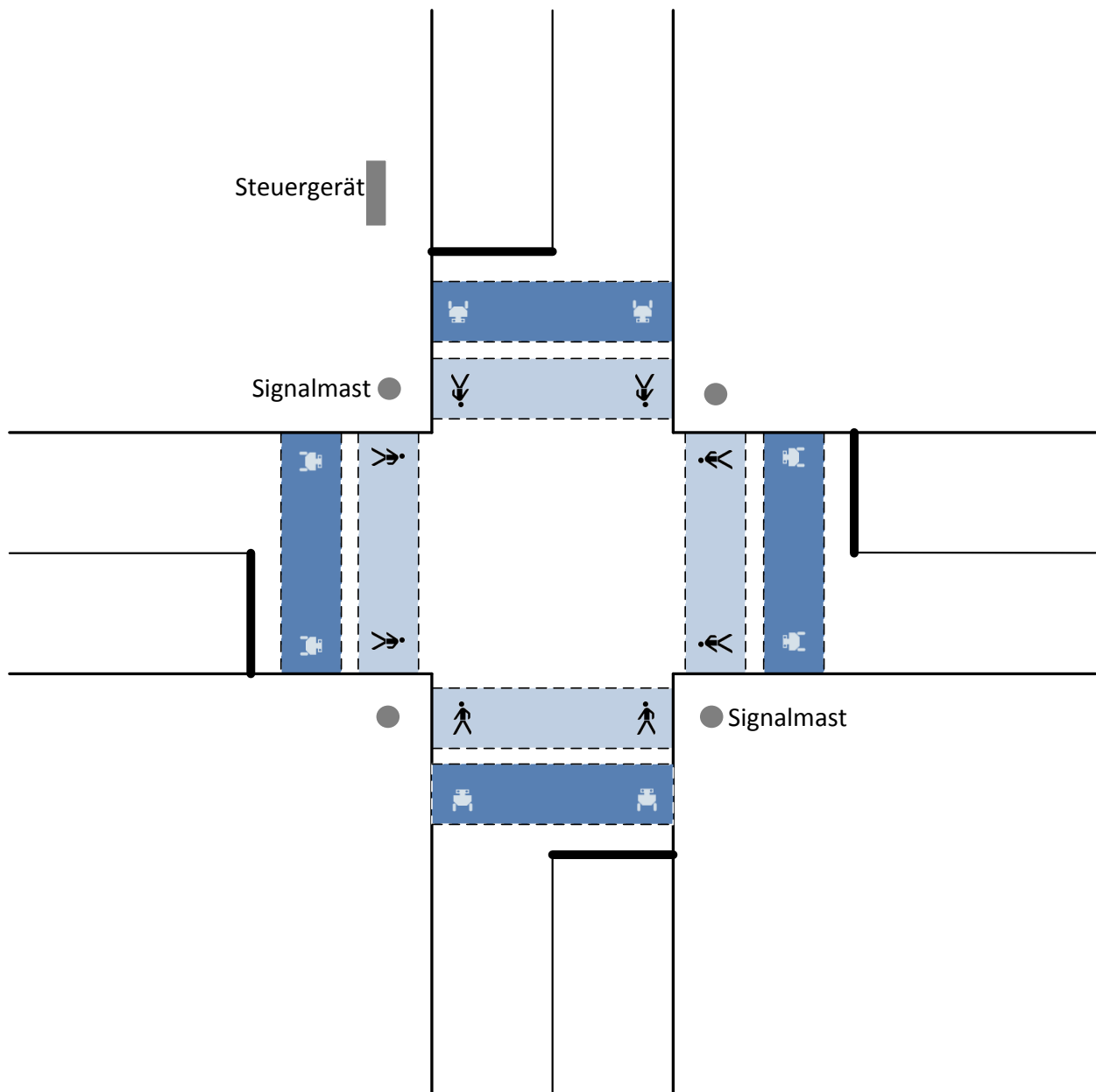


Abbildung 41 - Konzept für eine Kreuzung

Anschließend wurden noch die Anforderungen ausgewertet, ob alle „muss“ Kriterien erfüllt wurden.

Tabelle 11 - Auswertung der Anforderungen

ID	Komponente	Kriterium	Anforderung	erfüllt
A001	Das gesamte System	kann	aus mehreren Robotern bestehen.	ja
A002	Das gesamte System	muss	ein stationäres Modul (Steuergerät) besitzen.	ja
A003	Das gesamte System	kann	für beliebig viele Anzahl an Robotern skalierbar sein	(ja)
A004	Das gesamte System	muss	in jedem Umfeld frei nutzbar sein.	ja
A005	Das gesamte System	muss	aus einem Roboter bestehen.	ja
A006	Der Roboter	muss	über eine Kommunikationseinheit verfügen.	ja
A007	Der Roboter	muss	autark für mindestens zwei Stunden sein.	(ja)
A008	Der Roboter	muss	eine drahtlose Kommunikationseinheit besitzen.	ja
A009	Der Roboter	muss	das Kommunikationssystem tragen können. (Gewicht)	ja
A010	Der Roboter	muss	das Kommunikationssystem versorgen können. (Energieverbrauch)	(ja)
A011	Der Roboter	muss	eine Pseudonymität gewährleisten.	ja
A012	Das Kommunikationsmodul	muss	eine Verbindung zum Roboter aufbauen.	ja
A013	Das Kommunikationsmodul	muss	eine Verbindung zum Steuergerät aufbauen.	ja
A014	Das Kommunikationsmodul	muss	eine drahtlose Verbindung herstellen können.	ja
A015	Das Kommunikationsmodul	muss	ein maximales Gewicht von einem Kilogramm haben.	ja
A016	Das Kommunikationsmodul	muss	maximale Abmessungen von 160mm (W)x130(D)x60mm(H) besitzen.	ja
A017	Das Kommunikationsmodul	muss	SPaT und CAM Nachrichten übermitteln.	ja

	nikationsmodul		teln können.	
A018	Das Steuergerät	muss	das Kommunikationssystem tragen können. (Gewicht)	ja
A019	Das Steuergerät	muss	das Kommunikationssystem versorgen können. (Energieverbrauch)	ja
A020	Das Steuergerät	muss	eine dauerhafte Stromversorgung besitzen.	ja
A021	Das Steuergerät	muss	eine Verbindung zum Kommunikationsmodul besitzen.	ja
A022	Das Steuergerät	muss	eine drahtlose Kommunikation ermöglichen.	ja
A023	Die Datensätze	müssen	den Etsi Regeln entsprechen – SpaT und CAM Nachrichten.	ja
A024	Die Datensätze	können	verschlüsselt übertragen werden.	nein
A025	Die Datensätze	müssen	die ID, Zeitpunkt und die genaue Anforderung enthalten.	ja

Die Anforderung A003 stellt die Skalierbarkeit auf mehrere Roboter dar, was bei zu vielen Robotern ein Problem darstellt. Mehr dazu im nächsten Kapitel. Bei der Anforderung A007 konnte das Energieproblem nicht gelöst werden, da der Raspberry Pi eine 5V Stromversorgung benötigt und der Mindstorm diese derzeit nicht zur Verfügung stellen kann, musste hier auf ein 230V Netzteil zurück gegriffen werden. Somit ist die Anforderung nicht erfüllt. Bei der Anforderung A010 wird das gleiche Problem adressiert.

Die letzte Anforderung, die nicht erfüllt wurde – A024 – die Verschlüsselung der Daten zwecks Datenschutzrichtlinien ist für die C2X Kommunikation einfach nicht zweckmäßig, da die Entschlüsselung zu lange dauern würde und somit eine schnelle Weitergabe von Informationen gehemmt wäre.

8 Abschlussbetrachtung

In diesem letzten abschließenden Kapitel soll ein Überblick über die Ergebnisse dieser Masterarbeit in Form eines Ausblicks gegeben werden. Die Ergebnisse dieser Arbeit sollen als Grundlage für spätere Forschungsprojekte oder Arbeiten genommen werden können. Deshalb werden im nächsten Abschnitt Ideen oder auch Empfehlungen gegeben, die als Weiterentwicklungsmöglichkeiten dienen.

8.1 Verkehrsraumbetrachtung

In diesem Kapitel wird die Verkehrsraumbetrachtung durchgeführt. Für alle angesprochenen Probleme oder Auffälligkeiten, die während der Arbeit aufgetreten sind, gibt es derzeit keine Patentlösung, es kann nur eine Empfehlung ausgesprochen werden. Es muss auch nicht die perfekte Lösung sein, aber eine die zum Zeitpunkt der Arbeit als Möglichkeit in Betracht gezogen wurde.

Das erste Problem, welches während der Entwicklung auffiel, ist, dass wenn zu viele Roboter das System benutzen, kommt es automatisch an den Ampelkreuzungen zu einem Stau. Da das System nicht dazu ausgelegt ist, die Roboter zu präferieren, sondern ihnen nur eine sichere Überfahrt zu gewährleisten, stauen die Roboter sich dann auf den jeweiligen Kreuzungsbereichen. Hier könnten dann IDs vergeben werden als Wartemarken. Ob es dann in diesem Bereich für frische oder warme Waren und Lebensmittel eine Bevorzugung gibt, muss später noch geklärt werden.

Das nächste Problem, das auftrat, ist, dass es im städtischen Bereich schnell zu Verwechslungen der Kreuzung kommen kann, falls diese räumlich dicht beieinander liegen. Dieses Problem kann mit einzigartigen IDs der Kreuzung gelöst werden. Gleichzeitig fällt auf, dass ein Zugangspunkt für den Roboter gesetzt werden muss, an dem der Roboter die Straße überquert. Dieser Zugangspunkt könnte als Geoposition abgespeichert werden.

Ein weiteres Problem ist der mögliche Diebstahl eines Roboters. Diese sind zwar mit Kameras und GPS Sensorik ausgestattet, es kann aber trotzdem dazu kommen, dass die Roboter gestohlen werden können. Einmal wäre ein hohes Gewicht sinnvoll, was den Angreifer abschreckt. Hier sind etwa 25 bis 30kg angedacht, dieses Gewicht berechnet sich überschlagsweise aus dem eigentlichen Roboter und den dazu verbauten Akkupacks, sowie einer Ladung, die der Roboter bewegt. Außerdem könnte ein lauter Ton in einem für den Menschen unangenehmen Frequenzbereich sinnvoll sein. Dies könnte ein steter, leicht pulsierender Ton im Fre-

quenzbereich zwischen etwa 16 und 19 Kilohertz und mit einem Schalldruckpegel von bis zu 104 Dezibel erreichen. Gleiches gilt, wenn Personen den Roboter einbauen, also so, dass dieser sich nicht mehr frei bewegen kann, sei unabsichtlich oder aber auch absichtlich. Dann könnte ähnliches Szenario, wie beim Diebstahl durchgeführt werden. [54]

Außerdem muss eine gewisse Echtzeit im gesamten System vorhanden sein, um auf Fahrzeuge, die die rote Ampel überfahren haben, reagieren zu können. Vom System selber ist eine schnelle Verarbeitung der Daten angedacht. Da auch nicht viele Daten übertragen werden, kann zwar derzeit keine Echtzeit mit weniger als 100ms angeboten werden.

Ein Hauptproblem bleibt noch bestehen. Dieses bezieht sich auf die Stromversorgung an der LSA. Sollte die LSA einmal stromlos sein, wird diese automatisch in einen abgesicherten Modus geschaltet, der die Signalgeber gelb blinken lässt. Außerdem gibt es ja noch die passive Notfallebene – die Verkehrszeichen, die sich an jeder Kreuzung befinden. Folglich wird das C2X-Modul nicht mehr versorgt und kann so nicht Teil eines VANets werden. Aus diesem Grund, muss der Roboter dann auf eine andere Querung ausweichen und muss deshalb wohl einen Umweg fahren. Gleiches gilt, sollte einmal die C2X Elektrik stromlos sein oder durch andere Funkwellen überlagert werden. Auch hier gilt dann, bis zur nächsten Kreuzung fahren, die auf die Anfrage reagiert.

Eine weitere Idee war, dass der Zwischenraum zwischen der Haltelinie für Fahrzeuge und der Fußgängerfurt als eine Spur für die Roboter geschaffen wird. Diese Lücke muss laut RILSA mindestens 2m breit sein, was für den Roboter komplett ausreichen würde. Dieser Freiraum ist als zusätzlicher Sicherheitspuffer zwischen Fahrzeugen und Fußgängern gedacht, kann aber für die Anwendung benutzt werden.

Bei so niedrigen Fahrzeugen sollte auch noch eine Vorrichtung angebracht sein, damit alle Verkehrsteilnehmer den Roboter sehen können. Dies ist vor allem beim Abbiegen von KFZs wichtig. Angedacht war eine Stange in vertikaler Richtung, die etwa einen Meter lang ist und an der Front oder am Heck befestigt wird. An dieser Stange könnte eine Fahne oder ein Wimpel befestigt werden, ähnlich wie dies an Kinderfahrrädern schon praktiziert wird. Die Idee ist auch nicht neu, sie wird beim Starship Roboter (Abbildung 21) bereits angewendet.

Es werden sicher noch viele weitere Fragen zum Thema aufkommen, sobald sich mehr Personen und Einrichtungen mit dem Thema befassen.

8.2 Zusammenfassung und Fazit

Diese Arbeit gibt eine Einführung zum Thema C2X-Kommunikation. Dabei wurde auch auf die Besonderheiten dieses Kommunikationssystems eingegangen. Anschließend wurden zum Aufbau eines C2X-Systems alle verwendeten Komponenten sowie Softwareumgebungen beschrieben. Es wurde ein kleines Kommunikationsnetzwerk realisiert, um verschiedene Versuchen durchführen zu können. Dies wurde für einen kleinen Testbetrieb erfolgreich in Betrieb genommen. Im weiteren Verlauf der Arbeit wurden die verschiedenen Methoden zur Nachrichtenweiterleitung sowie -verbreitung vorgestellt. Dabei wurden nötige Hilfsfunktionen ebenfalls beschrieben.

Das Thema AGLOSA und die damit verbundene Beeinflussung des Verkehrs finde ich sehr interessant. In den letzten Jahren wurde oft darüber diskutiert und in Zukunft werden immer noch Untersuchungen in diesem Gebiet gemacht, weil die Geschwindigkeitsempfehlung viel Potenzial anbietet. Einerseits ist es möglich dank einer GLOSA-Anwendung bis zu 20% Kraftstoff zu sparen und dabei die giftigen CO₂-Emissionen zu reduzieren. [55]

Andererseits können so die mobilen Roboter sicher in den Straßenverkehr integriert werden. Dies hilft, einen Knotenpunkt, wie zum Beispiel hier eine Ampelkreuzung, sicherer zu gestalten. Außerdem kann diese digital verknüpft werden, was weitere Funktionalitäten ermöglicht.

Der Kernpunkt dieser Arbeit ist es eine Anwendung zu entwickeln. Dieses System versucht eine ruhige sowie eine sichere Fahrt zu ermöglichen, indem ein ständiges Anhalten der Roboter zu vermeiden ist. Dies funktioniert durch den Empfang von Informationen über die Position des Fahrzeugs sowie über die Zustände und Restzeiten der einzelnen Phasen der LSA. Als Ergebnis berechnet die AGLOSA Anwendung eine optimale Geschwindigkeit, um die Kreuzung ohne Pause zu passieren.

In Bezug auf die Problemstellung vom Anfang der Arbeit kann nun gesagt werden, dass es jetzt ein System gibt, mit dem kleine mobile Roboter gefahrenlos eine Kreuzung und ohne zu Hilfe nahe von Menschen, überqueren können.

Vor der Konzeptionierung der Anwendung wurde zunächst eine kurze Einführung in die Thematik gegeben, auf dem der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt: die C2X Technologie und deren Anwendung. Im Anschluss daran wurde eine Anforderungsanalyse durchgeführt, bei der zunächst das grundsätzliche Ziel und Anwendungsszenario definiert wurden, um im Anschluss daran die Anwendungsfälle in Form von Use-Cases definieren zu können. Darauf auf-

bauend konnten die nötigen Anforderungen an die einzelnen zu entwickelnden Komponenten abgeleitet und spezifiziert werden. Im Folgenden wurde die Anwendung sorgfältig geplant und konzeptioniert. Bezüglich der Robotersysteme wurden dafür zunächst bestehende Systeme untersucht, um die dabei erhaltenen Erkenntnisse für die Konzeption der eigenen Entwicklung zu berücksichtigen.

Bei der Implementierung der Anwendung wurde bei der Systemarchitektur besonders darauf geachtet, eine modulare und erweiterbare Anwendung zu entwickeln. Dadurch ist es zukünftig möglich, Weiterentwicklungen und Anpassungen an den C2X Nachrichten ohne größere Anpassungen zu realisieren.

Die Konzepte und Vorüberlegungen aus dem theoretischen Abschnitt dieser Abschlussarbeit konnten in der Praxis erfolgreich umgesetzt werden. Unerwartet aufgetretene Probleme während der Umsetzung konnten durch entsprechend angepasste Lösungskonzepte gelöst werden. Die entwickelte Anwendung sowie der entstandene Prototyp wurden bereits erfolgreich in ersten Tests eingesetzt und einer ersten Prüfung unterzogen.

Ich denke, wenn die C2X Technik in einer Vielzahl an Fahrzeugen verbaut wird und auch die Infrastrukturkomponente flächendeckend nachgerüstet wird, wird auch dieses System Einzug in das Öffentliche Leben erhalten. Auch konnte mithilfe der Anwendungsfälle dargestellt werden, was möglich ist und was mit Robotern in der verwendeten Größe nicht machbar ist. Dabei spielen natürlich auch einige Faktoren, die in der Verkehrsraumbetrachtung genannt wurden eine große Rolle. Sobald genügend Fahrzeuge mit der C2X Technik ausgestattet sind, wird es auch viel mehr Anwendungsfälle geben können. Einer wäre zum Beispiel, wenn ein Roboter an der roten Ampel warten muss und durch die Kameras eine Person erfasst wird. Diese Person will trotz Rot noch die Kreuzung überqueren. Dann könnte ein Feature sein, dass die Teilnehmer des Adhoc Netzwerkes in der Nähe vom Roboter gewarnt werden und so ein Unfall mit Personenschaden verhindert werden kann. Das wäre zum Beispiel ein Feature, was den Sicherheitsgewinn enorm vorantreiben würde. Dabei darf man den Datenschutz auch nicht ignorieren. Am besten wäre es in diesem Fall, wenn die Auswertung der Bilddaten nur im Roboter geschieht und nicht auf einem Server. Dies wäre zum einen zeitlich schneller als auch Datenschutztechnisch besser, da die Bilder nicht zwischengespeichert werden müssen. Das wäre dann auch etwas, was in den Köpfen der Menschen ankommt. Dass diese Technik von Vorteil ist und uns die Arbeit erleichtert. Das gilt natürlich auch für die mobilen Roboter,

die Pakete transportieren oder die Krankenfahrstühle, die ebenfalls mit dem System ausgestattet werden können.

Da die Schnittstelle zwischen der C2X Box von NEC und dem Roboter variabel ist, können dort dann auch verschiedene Modelle von verschiedenen Herstellern benutzt werden. Ich hatte mich in der Arbeit zum Testen und erforschen für das geländegängigste Fahrzeug entschieden, um dort einfach auf der sicheren Seite zu sein. Im Endeffekt stellte sich heraus, dass der Hersteller des Roboters Lieferprobleme hat und somit der Roboter der ursprünglich vorgesehen war, nicht rechtzeitig ankam. Deshalb musste auf den Mindstorm EV3 ausgewichen werden. Dies war nicht schlimm für die Arbeit, da dort aber keine Recheneinheit verbaut ist oder keine die umfangreich programmierbar ist, musste ein Workaround mithilfe des Raspberry Pi geschaffen werden. Dieser wird bei späteren Robotern hoffentlich nicht nötig sein.

Wie in den Usecases bereits beschrieben, gab es Schwierigkeiten bei der Bluetooth Kommunikation. Diese kam teilweise – nicht reproduzierbar – nicht zustande. Diese war aber beim Testroboter essentiell wichtig. Deswegen wäre es wichtig, dass beim System für einen wirklichen Gebrauch im Straßenverkehr so möglich Störfaktoren, wie möglich auf das System einwirken sollten.

Literaturverzeichnis

- [1] J. Erdmann, „Kombination von Adaptiver LSA-Steuerung und GLOSA (AGLOSA),“ 04 12 2013. [Online]. Available: http://elib.dlr.de/84953/2/AGLOSA_VIMOS_DRESDEN_2013.pdf. [Zugriff am 17 01 2018].
- [2] ETSI, „<http://www.etsi.org>,“ ETSI, 04 2014. [Online]. Available: http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/30263601/01.02.01_60/en_30263601v010201p.pdf. [Zugriff am 17 01 2018].
- [3] Collect, Toll, „<https://www.toll-collect.de>,“ 2017. [Online]. Available: https://www.toll-collect.de/de/toll_collect/fahren/einbuchung/automatisch_einbuchen_mit_der_on_board_unit/einbuchung.html. [Zugriff am 17 01 2018].
- [4] Stübing, H., „www.springer.com,“ 1 5 2013. [Online]. Available: <http://www.springer.com/978-3-658-02530-4>. [Zugriff am 17 1 2018].
- [5] R. B. D. W. Z. Dr. Andreas Festag, „<http://festag-net.de>,“ 01 2008. [Online]. Available: <http://festag-net.de/doc/080106.pdf>. [Zugriff am 18 01 2018].
- [6] P. Dreßler, Funksysteme, Protokolle und Anwendungen der Car-to-X-Kommunikation, Ilmenau: Technische Universität Ilmenau - Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, 2013.
- [7] J. K. N. C. Alexander Paie, „FIRST RESULTS FROM CAR-TO-CAR AND CAR-TO-INFRASTRUCTURE RADIO CHANNEL MEASUREMENTS AT 5.2 GHZ,“ *18th Annual IEEE International Symposium*, p. 5, 2017.
- [8] K.-O. Proskawetz, „Car to car communications a step closer,“ ITS International, 11 2012. [Online]. Available: <http://www.itsinternational.com/categories/location-based-systems/features/car-to-car-communications-a-step-closer/>. [Zugriff am 17 01 2018].

- [9] D. S. Z. A. S. Dr. Gáspár Péter, „<http://www.mogi.bme.hu>,“ 2014. [Online]. Available:
http://www.mogi.bme.hu/TAMOP/jarmurendszer_iranyitasa_angol/math-ch08.html. [Zugriff am 17 01 2018].
- [10] S. Graefling, „Performance Evaluation of IEEE 1609 WAVE and IEEE 802.11p for Vehicular Communications,“ *http://ieeexplore.ieee.org*, p. 5, 12 08 2010.
- [11] P. K. Sahoo, „<http://www.mdpi.com>,“ 27 10 2014. [Online]. Available:
http://www.mdpi.com/sensors/sensors-14-22230/article_deploy/html/images/sensors-14-22230f1.png. [Zugriff am 17 01 2018].
- [12] P. C. Ikbál Chammakhi Msadaa, „A Comparative Study between 802.11p and Mobile WiMAX-based V2I Communication Networks,“ *IEEE*, 26 08 2010.
- [13] Statista, „<https://de.statista.com/>,“ 2017. [Online]. Available:
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/12195/umfrage/anteil-der-lkw-am-gueterverkehr-in-deutschland/>. [Zugriff am 17 01 2018].
- [14] H. f. T. u. W. Dresden, „Grundlagen Car2X-Kommunikation,“ Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, <http://www.htw-mechlab.de/index.php/forschung/nachwuchsforschergruppe/grundlagen-car2x-kommunikation/>, 2017.
- [15] D.-I. C. P. Kunze, Kontextbasierte Kooperation: Unterstützung verteilter Prozesse im Mobile Computing, Hamburg: Universität Hamburg, 2008.
- [16] D.-I. M. Lipphardt, Service-orientierte Infrastrukturen und Algorithmen für praxistaugliche Sensornetzanwendungen, Lübeck: Universität Lübeck, 2009.
- [17] P. D. Gáspár, „Highly Automated Vehicle Systems,“ 2014. [Online]. Available:
http://www.mogi.bme.hu/TAMOP/jarmurendszer_iranyitasa_angol/math-ch08.html. [Zugriff am 17 01 2018].
- [18] B. Lange, „<https://www.heise.de>,“ iX, 11 2009. [Online]. Available:
<https://www.heise.de/ix/artikel/Sichtweite-erhoehen-820516.html>. [Zugriff am 17 01

2018].

- [19] A. F. Long Le, „Vehicular Wireless Short-Range Communication for Improving Intersection Safety,“ *IEEE Communications Magazine*, Europa, 2009.
- [20] F. Graf, „„Car 2 Car/Car 2 X“ Kommunikation - Kommunikation zwischen Fahrzeugen und deren Umgebung,“ *Universität Koblenz-Landau*, p. 18, 04 09 2009.
- [21] S. Wienströer, „<https://www.a-coding-project.de/ratgeber/wlan/verfahren>,“ 2017. [Online]. Available: <https://www.a-coding-project.de/ratgeber/wlan/verfahren>. [Zugriff am 17 01 2018].
- [22] J. Horneber, *Robuste, energieeffiziente Datenübertragung in drahtlosen Sensornetzen*, Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie , 2006.
- [23] D.-I. M. Vodel, *Funkstandardübergreifende Kommunikation in Mobilen Ad Hoc Netzwerken*, Chemnitz: Technische Universität Chemnitz, 2010.
- [24] P. D.-I. G. Carle, „Grundlagen:Rechnernetze und Verteilte Systeme,“ *Lehrstuhl für Netzarchitekturen und Netzdienste*, 07 2010.
- [25] S. International, „http://standards.sae.org/j2735_200911,“ 19 11 2009. [Online]. Available: http://standards.sae.org/j2735_200911. [Zugriff am 17 01 2018].
- [26] BAST, „www.bast.de,“ BAST - Bundesamt für Straßenwesen, 2018. [Online]. Available: https://www.bast.de/BAST_2017/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/V5-Verkehrsdatenerfassung.html. [Zugriff am 18 02 2018].
- [27] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, „RiLSA,“ in *Richtlinien für Lichtsignalanlagen*, Köln, FGSV, 2014, p. 89.
- [28] F. f. S.-. u. Verkehrswesen, *RiLSA - Richtlinien für Lichtsignalanlagen - Lichtzeichenanlagen für den Straßenverkehr*, Köln: FGSV , 2015.
- [29] R. Markowski, „Evaluierung und Weiterentwicklung der LSA-Steuerverfahren VITAL,“ *Technische Universität Dresden, Dresden*, 2017.

- [30] R. Oertel, „VITAL – Verkehrsabhängig Intelligente Steuerung von Lichtsignalanlagen,“ DLR, 06 05 2017. [Online]. Available: http://www.dlr.de/ts/desktopdefault.aspx/tabid-10704/20365_read-42579/. [Zugriff am 14 03 2018].
- [31] M. Seredynski, „Comparison of Green Light Optimal Speed Advisory approaches,“ IEEE, The Hague, 2014.
- [32] I. P. Spaanderman, „LTE-V2X & IEEE802.11p/ITS-G5 Spectrum Sharing at 5.9 GHz,“ CAR 2 CAR Communication Consortium, 2017.
- [33] K. Katsaros, „Performance study of a Green Light Optimized Speed Advisory (GLOSA),“ University of Surrey, Surrey, 2017.
- [34] Elib, „ELIB DLR,“ DLR, 01 11 2017. [Online]. Available: elib.dlr.de. [Zugriff am 6 12 2017].
- [35] „Forschungsprojekt UR:BAN,“ Volkswagen, <https://www.tib.eu/de/suchen/id/TIBKAT%3A871325632/>, 2016.
- [36] D. AG, „Sichere Intelligente Mobilität Testfeld Deutschland,“ <http://www.simtd.de>, http://www.simtd.de/index.dhtml/object.media/deDE/8154/CS-/backup_publications/Projektergebnisse/simTD-TP5-Abschlussbericht_Teil_A_Manteldokument_V10.pdf, 2013.
- [37] W. H. Matthias Schulze, „DRIVE C2X - Accelerate cooperative mobility,“ DRIVE C2X, <http://www.drive-c2x.eu/project>, 2014.
- [38] W. Niebel, „KOLINE - Kooperative und optimierte Lichtsignalsteuerung in städtischen Netzen,“ DLR, http://elib.dlr.de/82186/1/BMWi_19P9002B_KOLINE_Schlussbericht-PartnerDLR.pdf, 2013.
- [39] S. Ruppe, „LSA-Labor,“ [Online]. Available: http://www.dlr.de/ts/desktopdefault.aspx/tabid-11367/19949_read-46710/. [Zugriff am 27 03 2018].

- [40] J. E. W. Z. Julia Lohrmann, „<https://www.planet-wissen.de>,“ ARD, 02 11 2016. [Online]. Available: https://www.planet-wissen.de/technik/computer_und_roboter/roboter_mechanische_helfer/index.html. [Zugriff am 17 01 2018].
- [41] G. Gehlen, „Wenn der Roboter Briefe bringt: Erster Alltagstest des Postbot,“ heise online, <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Wenn-der-Roboter-Briefe-bringt-Erster-Alltagstest-des-Postbot-3849915.html>, 2017.
- [42] „<https://www.berliner-kurier.de>,“ 06 10 2017. [Online]. Available: <https://www.berliner-kurier.de/news/panorama/-postbot--post-testet-begleit-roboter-fuer-brieftraeger--28532810>. [Zugriff am 17 01 2018].
- [43] D.-I. A. Wedler, „<http://www.dlr.de>,“ 2014. [Online]. Available: <http://www.dlr.de/rm/desktopdefault.aspx/tabid-11431/#gallery/27820>. [Zugriff am 21 01 2018].
- [44] PIAGGIO, „<https://www.golem.de>,“ 09 02 2017. [Online]. Available: <https://www.golem.de/news/piaggio-roboter-gita-faehrt-die-einkaeufe-nach-hause-1702-125993.html>. [Zugriff am 21 01 2018].
- [45] Starship, „Starship,“ starship, 12 01 2018. [Online]. Available: <https://www.starship.xyz/>. [Zugriff am 22 03 2018].
- [46] D. Robot, „<https://www.robotshop.com>,“ 01 11 2017. [Online]. Available: <https://www.robotshop.com/de/de/dr-robot-jaguar-4x4-mobile-plattform.html>. [Zugriff am 21 01 2018].
- [47] DLR, „Bert,“ 01 10 2017. [Online]. Available: <http://www.dlr.de/rm/desktopdefault.aspx/tabid-11826/#gallery/28795>. [Zugriff am 21 01 2018].
- [48] MiR, „<http://www.mobile-industrial-robots.com>,“ 01 01 2017. [Online]. Available: <http://www.mobile-industrial-robots.com/de/products/mir100/>. [Zugriff am 21 01 2018].

- [49] K. Biermann, „Zeit Online,“ 17 09 2013. [Online]. Available: <http://www.zeit.de/digital/games/2013-09/lego-mindstorms-ev3>. [Zugriff am 21 01 2018].
- [50] S. Ruppe, „Intelligente Infrastruktur,“ DLR, 12 01 2017. [Online]. Available: http://www.dlr.de/ts/desktopdefault.aspx/tabid-11367/19949_read-46710/. [Zugriff am 12 03 2018].
- [51] ETSI, „etsi.org,“ 01 09 2010. [Online]. Available: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102600_102699/10263701/01.01.01_60/ts_10263701v010101p.pdf. [Zugriff am 27 03 2018].
- [52] H. P. Dinh, „www.htw-mechlab.de,“ 5 04 2016. [Online]. Available: <https://www.htw-mechlab.de/wp-content/uploads/2016/05/Diplom-HaiPhucDinh.pdf>. [Zugriff am 27 03 2018].
- [53] FGSV, Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen, Köln: FGSV, 2001.
- [54] M. Möser, Technische Akustik, <http://www.springer.com/978-3-540-71386-9>: Springer, 2007.
- [55] M. Düring, „<http://elib.dlr.de/>,“ 01 06 2011. [Online]. Available: http://elib.dlr.de/70524/1/Studienarbeit_Michael_D%C3%BCring_110726.pdf. [Zugriff am 12 03 2018].

Anlagen

Inhalt der CD-ROM

Die beiliegende CD-ROM hat den folgenden Inhalt:

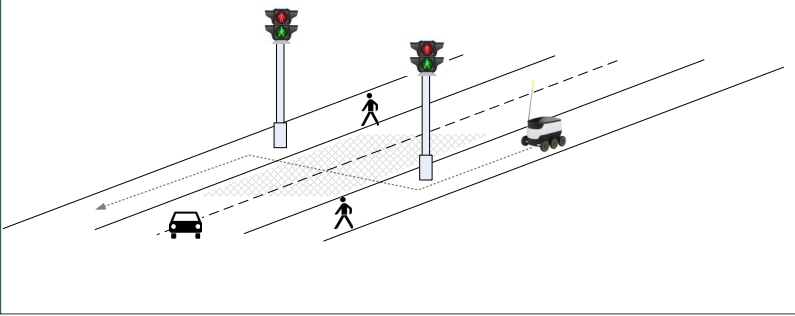
Dokumente - Das Verzeichnis enthält die zusammengestellten C2X Nachrichten, die als Beispiel aufgeführten .xml Dateien mit den Botschaften für CAM und SPaT sowie die vorliegende Masterarbeit als PDF-Dokument.

Quellcode - Das Verzeichnis enthält eine funktionsfähige Version der Anwendung.

Protokolle

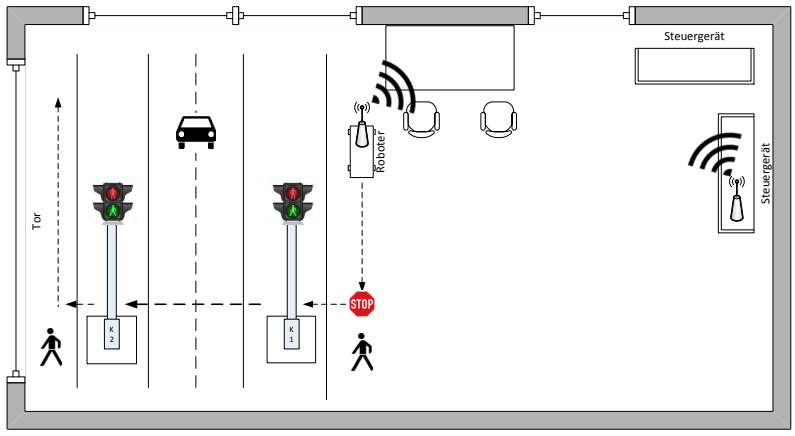
Usecase I

Abschnitt des Protokolls	Inhalt
Thema	Usecase I
Ort und Datum	LSA Labor – 05.04 bis 06.04.2018
Fragestellung	Der Roboter soll sich an der Kreuzung anmelden. Ihm wird dann automatisch eine Grün-Phase zugeteilt und wird so über die Kreuzung geleitet.
Hypothese/Vermutung	Der Roboter fährt auf der vorgegebenen Linie und meldet sich gleichzeitig via Bluetooth und Lan an der C2X Box an. Diese verarbeitet die Daten des Roboters und sendet die CAM Botschaft an die C2X Box im Steuergerät. Dort soll die Nachricht verarbeitet werden. Anschließend soll an den Roboter eine SPaT Nachricht gesendet werden, die dieser wiederum verarbeitet. Daraufhin soll er seine Bewegung fortsetzen.
Versuchsaufbau	Steuergerät, zwei Signalmasten, Roboter, Raspberry Pi, zwei C2X Kommunikationseinheiten Benötigte Daten: Schnittstellen, Kommunikation zwischen Steuergerät und Roboter

Abschnitt des Protokolls	Inhalt
	<div data-bbox="560 271 1358 629"> <p>Use-Case (DLR LSA-Labor)</p>  <p>The diagram shows a perspective view of a road intersection. A small white robot with a yellow antenna is on the right side of the road, moving towards the intersection. A black car is on the left side, also moving towards the intersection. Two pedestrians are crossing the road. Two traffic lights are visible at the intersection. Dashed lines indicate the robot's path and the car's path. The title 'Use-Case (DLR LSA-Labor)' is at the top left of the diagram area.</p> </div>
Versuchsdurchführung	<p>Bei diesem Versuch geht es noch nicht darum, die Wartezeit zu verkürzen, sondern nur die Funktionalität zu testen. Dabei geht es im Speziellen um die Kommunikation zwischen Roboter und dem Steuergerät der Kreuzung um dann für die Funktionalität für weitere Testfälle zu erweitern.</p> <p>Der Roboter bekommt eine Linie vorgegeben, anhand dieser soll er sich bewegen. Es wird automatisch über Bluetooth eine Verbindung hergestellt.</p>
Versuchsbeobachtung	<p>Die Linie, nachdem der Roboter fahren sollte, wurde durch den Liniensensor nicht erkannt. Dieser wurde umgebaut, damit der Roboter der Linie folgen konnte. Er hängt jetzt direkt senkrecht über der Linie. Teilweise wird die Bluetooth Verbindung durch andere und stärkere Geräte gestört, sodass keine Verbindung zwischen Roboter und Raspberry Pi hergestellt werden konnte.</p>
Versuchsdeutung	<p>Im Großen und Ganzen, war der Versuch erfolgreich. Kleine Probleme wurden erkannt, die aber auch schon bei vorherigen Tests Probleme bereiteten, hier die Bluetooth Verbindung, die manchmal nicht zustande kommt oder nach der Koppelung abreißt.</p>

Usecase II

Abschnitt des Protokolls	Inhalt
Thema	Usecase II
Ort und Datum	LSA Labor – 09.04 bis 10.04.2018
Fragestellung	Den Roboter mit dem Steuerverfahren AGLOSA so zu verknüpfen, dass wenig bzw. keine Wartezeit für den Roboter entsteht, aufbauend auf der ersten Testphase (Usecase I).
Hypothese/Vermutung	Der Roboter fährt auf der vorgegebenen Linie und meldet sich gleichzeitig via Bluetooth am Raspberry Pi an und dann per Lan an der C2X Box. Diese Verarbeitet die Daten des Roboters und sendet die CAM Botschaft an die C2X Box im Steuergerät. Dort soll die Nachricht verarbeitet werden. Anschließend soll an den Roboter eine SPaT Nachricht gesendet werden, die im Raspberry Pi wiederum verarbeitet. Daraufhin soll er seine Bewegung fortsetzen. Diese Kommunikation soll so schnell und so regelmäßig wie möglich durchgeführt werden, hier wäre ein Sekundentakt für die Testphase gut.
Versuchsaufbau	<p>Aufbau ist sehr ähnlich – wie in der ersten Testphase – hier wird nun aber die Funktionalität des AGLOSA Algorithmus getestet. Und zwar meldet sich der Roboter beim Steuergerät an – ähnlich, wie ein normaler Drucktaster an der Ampel – und bekommt dann über die Schnittstelle Sekundengenau die Grünphase zugeteilt.</p> <p>Steuergerät, zwei Signalmasten, Roboter, Raspberry Pi, zwei C2X Kommunikationseinheiten</p> <p>Benötigte Daten: Schnittstellen, Kommunikation zwischen Steuergerät und Roboter</p>

Abschnitt des Protokolls	Inhalt
	
Versuchsdurchführung	<p>Bei diesem Versuch geht es darum, die Wartezeit zu verkürzen. Dabei geht es im Speziellen um die Kommunikation zwischen Roboter und dem Steuergerät der Kreuzung um dann für die Funktionalität für weitere Testfälle zu erweitern.</p> <p>Der Roboter bekommt eine Linie vorgegeben, anhand dieser soll er sich bewegen. Es wird automatisch über Bluetooth eine Verbindung hergestellt.</p>
Versuchsbeobachtung	<p>Die Probleme aus dem ersten Usecase wurden erkannt und versucht zu beseitigen. Bei der Thematik um die Erkennung der Linie ist es gelungen, es blieb aber noch das Bluetooth Problem, das so erstmal nicht gleich gelöst werden konnte.</p>
Versuchsdeutung	<p>Der Test war insoweit erfolgreich. Ähnliche Probleme, wie beim ersten Test.</p>